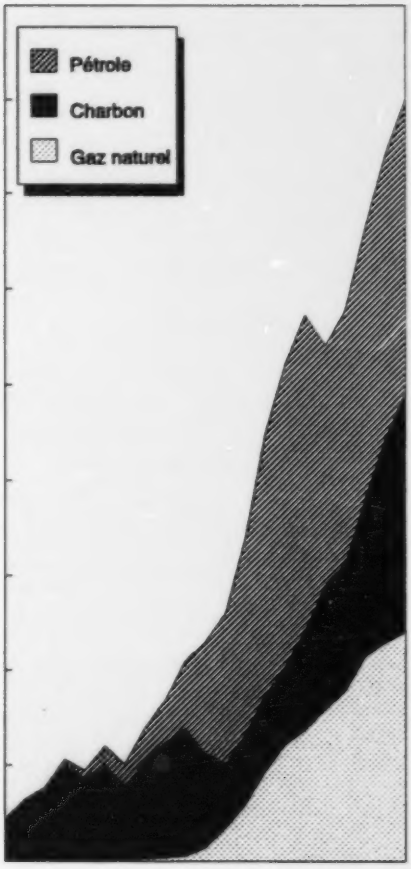
Série de la Protection de l'environnement



Inventaire national des sources et des émissions de dioxyde de carbone (1987)

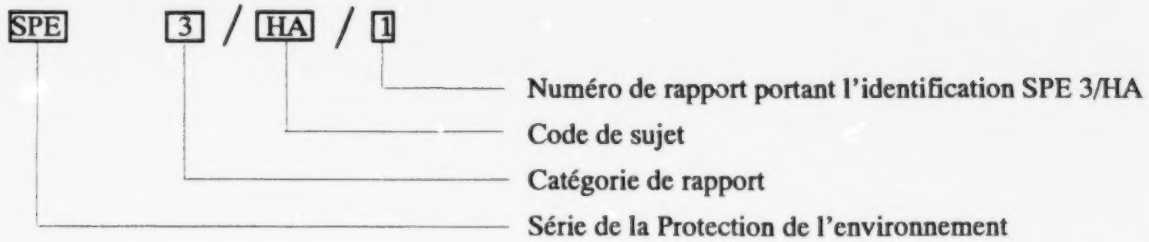
Rapport SPE 5/AP/2
Mai 1990

Canada

Environnement Canada | Environment Canada

SÉRIE DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

Exemple de numérotation :



Catégories

1 Règlements/Lignes directrices/ Codes de pratiques
2 Évaluation des problèmes et options de contrôle
3 Recherche et développement technologique
4 Revues de la documentation
5 Inventaires, examens et enquêtes
6 Évaluations des impacts sociaux, économiques et environnementaux
7 Surveillance
8 Propositions, analyses et énoncés de principes généraux
9 Guides

Sujets

AG Agriculture
AN Technologie anaérobie
AP Polluants atmosphériques
AT Toxicité aquatique
CC Produits chimiques commerciaux
CE Consommateurs et environnement
CI Industries chimiques
FA Activités fédérales
FP Traitement des aliments
HA Déchets dangereux
IC Chimie inorganique
MA Pollution marine
MM Exploitation minière et traitement des minéraux
NR Régions du Nord et rurales
PF Papier et fibres
PG Production d'électricité
PN Pétrole et gaz naturel
RA Réfrigération et climatisation
RM Méthodes de référence
SF Traitements de surface
SP Déversements de pétrole et de produits chimiques
SRM Méthodes de référence normalisées
TS Systèmes de transport
TX Textiles
UP Pollution urbaine
WP Protection/préservation du bois

Des sujets et des codes additionnels sont introduits au besoin. On peut obtenir une liste des publications de la SPE en s'adressant aux Publications de la Protection de l'environnement, Conservation et Protection, Environnement Canada, Ottawa (Ontario) K1A 0H3.

Cette publication est imprimée sur du papier contenant des rebuts recyclés.

INVENTAIRE NATIONAL DES SOURCES ET DES ÉMISSIONS DE DIOXYDE DE CARBONE (1987)

A.P. Jaques
Protection de l'environnement
Conservation et Protection
Environnement Canada

SPE 5/AP/2
Mai 1990

90-05304/I

Données de catalogage avant publication (Canada)

Jaques, A. P.

Inventaire national des sources et des émissions de dioxyde de carbone (1987)

(Rapport ; SPE 5/AP/2)
Publ. en anglais sous le titre: National inventory of sources and emissions of carbon dioxide (1987).
Comprend un résumé en anglais.
Comprend des références bibliogr.
Publ. par Conservation et protection.
ISBN 0-662-96161-7
N° de cat. MAS En49-5/5-2F

1. Gaz carbonique -- Aspect de l'environnement. 2. Pollution -- Mesure. 3. Canada -- Industrie -- Aspect de l'environnement. I. Canada. Environnement Canada. II. Canada. Conservation et protection. III. Titre. IV. Coll.: Rapport (Canada. Environnement Canada) ; SPE 5/AP/2.

TD885.5.C3J6314 1990 363.72'8 C90-098646-8

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1990
No de catalogue En 49-5/5-2F
ISBN 0-662-96161-7
IMPRIMERIE BEAUREGARD LIMITÉE

AVIS AUX LECTEURS

Les lecteurs qui voudraient faire des observations sur le contenu du présent rapport sont priés de s'adresser à :

F. Vena
Chef
Division de la gestion
des inventaires
Direction des affaires réglementaires
et de l'intégration des programmes
Protection de l'environnement
Conservation et Protection
Environnement Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 0H3

RÉSUMÉ

Les estimations des quantités de dioxyde de carbone libérées dans l'environnement sous forme d'émissions en 1987 sont résumées dans le présent rapport. Les émissions ont été classifiées par source, secteur, province et type de combustible. Les estimations présentées sont fondées sur des données d'échantillonnage, des données sur la production et des équations stoechiométriques. Pour 1987, les émissions anthropiques de dioxyde de carbone sont estimées à 128 Mt de carbone, les sources fixes de combustion comptant pour 71 Mt, soit 55 % du total.

Ce rapport comprend un résumé concis des sources de dioxyde de carbone ainsi qu'une analyse détaillée des méthodes utilisées pour estimer les émissions.

ABSTRACT

Estimates of the quantities of carbon dioxide released to the environment as emissions in 1987 are summarized in this report. Emissions have been classified by source, sector, province, and fuel type. The data presented are estimates based on sampling data, production figures, and stoichiometric equations. Total anthropogenic emissions of carbon dioxide in 1987 were estimated to be 128 Mt of carbon with stationary combustion sources accounting for 71 Mt or 55 % of the total.

A brief summary of the sources of carbon dioxide is included as is a detailed analysis of the methods used in estimating emissions.

TABLE DES MATIÈRES

		Page
RÉSUMÉ		v
ABSTRACT		vi
LISTE DES TABLEAUX		ix
LISTE DES FIGURES		x
SOMMAIRE		xi
1	INTRODUCTION	1
2	CONTEXTE	4
3	MÉTHODE	7
3.1	Combustibles	7
3.1.1	Combustibles gazeux	7
3.1.2	Combustibles liquides	10
3.1.3	Combustibles solides	12
3.2	Procédés industriels	15
4	ÉMISSIONS	18
4.1	Procédés industriels	18
4.1.1	Production de ciment	18
4.1.2	Production d'ammoniac	18
4.1.3	Production de pâtes et papiers	18
4.2	Combustion de combustibles - Sources fixes	19
4.2.1	Production d'électricité	19
4.2.2	Combustion de combustibles	20
4.3	Combustion de combustibles - Sources mobiles	22
4.3.1	Véhicules routiers à essence	22
4.3.2	Véhicules routiers à moteur diesel	24
4.3.3	Utilisation de l'essence à des fins autres que le transport	24
4.3.4	Transport aérien	25
4.3.5	Transport ferroviaire	25
4.3.6	Transport maritime	25
4.3.7	Autres véhicules à moteur diesel	25
4.3.8	Autres utilisations des combustibles	26
4.4	Émissions provenant de l'incinération des déchets	26
4.4.1	Incinération des ordures ménagères	26
4.4.2	Incinération des déchets industriels	26
4.4.3	Incinération des déchets ligneux	27
4.5	Sources diverses	27
4.5.1	Brûlage des rémanents	27
4.5.2	Incendies de forêt	27

TABLE DES MATIÈRES (suite)

		Page
5	LA BIOMASSE FORESTIÈRE AU CANADA	28
6	TENDANCES DES ÉMISSIONS	30
BIBLIOGRAPHIE		31
ANNEXE - ÉMISSIONS DE DIOXYDE DE CARBONE, PAR RÉGION		35

LISTE DES TABLEAUX

Tableau		Page
1	ÉMISSIONS DE DIOXYDE DE CARBONE, PAR COMBUSTIBLE ET PAR PROCÉDÉ	3
2	COMPOSITION DU GAZ NATUREL	9
3	POUVOIR CALORIFIQUE MOYEN DU GAZ NATUREL SEC	9
4	FACTEURS DE CONVERSION DU CONTENU ÉNERGÉTIQUE GLOBAL DU GAZ NATUREL	10
5	COMBUSTIBLES LIQUIDES	12
6	CONSOMMATION DE COMBUSTIBLES LIQUIDES AU CANADA (1985)	13
7	CHARBONS CONSOMMÉS AU CANADA	13
8	HUILE LÉGÈRE ET GOUDRON PRODUITS À PARTIR DU CHARBON DANS LES COKERIES AUX ÉTATS-UNIS	15
9	MATIÈRE ET ÉNERGIE NÉCESSAIRES À LA PRODUCTION D'AMMONIAC	16
10	COMPOSITION DES LESSIVES DE PÂTE ÉPUISÉES	17
11	CONSOMMATION DE COMBUSTIBLES PAR SOURCE FIXE, 1987	21
12	CONSOMMATION D'ESSENCE ET DE CARBURANT DIESEL - VÉHICULES ROUTIERS, 1985	24

LISTE DES FIGURES

Figure		Page
1	ÉMISSIONS DE DIOXYDE DE CARBONE, PAR COMBUSTIBLE (1987)	2
2	ÉMISSIONS DE DIOXYDE DE CARBONE, PAR HABITANT	6
3	ÉMISSIONS DE DIOXYDE DE CARBONE PROVENANT DE SOURCES FIXES	20
4	ÉMISSIONS DE DIOXYDE DE CARBONE PROVENANT DE SOURCES MOBILES	22
5	TENDANCES DES ÉMISSIONS DE DIOXYDE DE CARBONE (1985-2005)	30

SOMMAIRE

Le présent inventaire porte sur les sources anthropiques du dioxyde de carbone libéré dans l'environnement sous forme d'émissions. Aux fins de ce rapport, les émissions ont été définies comme étant des gaz libérés dans l'atmosphère. En outre, toutes les émissions ont été exprimées en tonnes de carbone en vue de faciliter la comparaison avec d'autres estimations publiées et de montrer l'ampleur des émissions anthropiques par rapport aux émissions globales de carbone. On peut convertir toutes les émissions estimatives en tonnes de dioxyde de carbone en les multipliant par 44/12.

Les émissions de dioxyde de carbone au Canada ont été estimées pour 1987 et sont indiquées en tonnes de carbone au tableau S.1 et en tonnes de dioxyde de carbone au tableau S.2. Les figures S.1 et S.2 donnent une ventilation des émissions par province et par source.

De toutes les émissions de dioxyde de carbone produites en 1987 par les Canadiens (128 Mt), environ 30 % provenaient de sources mobiles, 20 %, de la production d'électricité, 23 %, de la combustion de gaz naturel, 6 %, de la combustion de lessives de pâte épuisées, 5 %, de la combustion de bois, et le reste, de la production de ciment et d'ammoniac, de l'incinération de déchets et de la combustion de mazout.

On prévoit que les émissions augmenteront d'environ 40 % entre 1985 et 2005.

TABLEAU S.1 RÉSUMÉ DES ÉMISSIONS DE DIOXYDE DE CARBONE AU CANADA POUR 1987
(en tonnes de carbone)

Secteur	T.-N.	Î.-P.-É.	N.-É.	N.-B.	Qc
Sources industrielles					
Production de ciment	21 899	0	42 289	27 580	514 479
Production d'ammoniac	0	0	0	0	0
Production de pâtes et papiers	0	0	219 272	627 337	1 372 311
Combustion de combustibles - Sources fixes					
Usine à gaz/utilisation sur le terrain	0	0	0	0	0
Production d'électricité	523 602	20 394	1 746 122	1 109 914	58 337
Logements	149 721	78 082	485 872	217 454	1 660 383
Entreprises commerciales	57 548	25 507	151 349	91 288	999 847
Industrie	354 840	12 509	339 236	383 273	2 717 012
Agriculture	3 950	5 292	17 282	13 262	75 418
Administration publique	22 013	8 836	86 850	55 771	73 184
Bois de chauffage	201 542	103 660	106 911	121 720	923 913
Combustion de combustibles - Sources mobiles					
Essence					
Automobiles	228 553	67 958	451 666	379 728	2 803 370
Véhicules utilitaires légers	96 642	28 735	190 983	160 564	1 185 378
Véhicules utilitaires lourds	25 083	7 458	49 568	41 673	307 655
Motocyclettes	1 019	303	2 013	1 693	12 496
Diesel					
Véhicules utilitaires légers	11 500	1 654	14 074	16 371	113 539
Véhicules utilitaires lourds	103 274	14 850	126 381	147 008	1 019 585
Autres	79 569	12 648	177 916	83 829	585 013
Transport ferroviaire	10 122	1 195	47 024	35 598	133 475
Transport maritime	120 072	7 751	230 263	85 736	479 383
Transport aérien	205 838	5 471	118 060	22 082	676 054
Essence utilisée à des fins autres que le transport	6 582	5 321	15 907	19 782	102 322
Gaz naturel	0	0	0	0	10 081
Propane	457	539	3 786	2 791	29 670
Incinération des déchets solides					
Ordures ménagères	0	6 752	0	0	141 349
Déchets industriels	2 356	620	8 680	11 111	31 374
Déchets ligneux	4 361	1 846	22 500	52 122	432 692
Sources diverses					
Brûlage des rémanents	63 774	10 570	87 403	200 596	899 469
TOTAL	2 294 304	427 949	4 741 408	3 908 083	17 357 792

Ont.	Man.	Sask.	Alb.	C.-B.	T.N.-O./Yuk.	Échelle nationale	% du total
602 181	63 180	91 003	195 166	156 264	0	1 714 030	1,33
264 802	44 134	0	728 204	66 200	0	1 103 340	0,86
1 547 791	99 809	221 726	398 589	3 975 237	0	8 462 072	6,59
0	0	603 680	5 306 017	389 725	65 081	6 364 503	4,96
8 261 850	209 614	3 312 601	10 348 818	116 176	48 979	25 756 406	20,05
4 313 933	325 253	548 220	1 624 247	926 899	15 165	10 345 231	8,05
2 082 116	315 681	291 481	1 042 206	678 686	31 411	5 767 119	4,49
9 866 145	332 832	629 634	2 826 833	1 709 649	54 435	19 226 397	14,97
183 240	13 838	46 159	116 784	42 801	496	518 521	0,40
172 198	9 278	22 193	45 906	42 605	50 226	589 060	0,46
785 579	44 787	54 178	35 757	88 852	30 701	2 497 600	1,94
5 007 543	540 890	592 262	1 633 405	1 440 688	40 686	13 186 748	10,27
2 117 392	228 710	250 432	690 670	609 181	17 203	5 575 891	4,34
549 552	59 360	64 998	179 258	158 108	4 465	1 447 178	1,13
22 321	2 411	2 640	7 281	6 422	181	58 779	0,05
199 918	23 478	30 927	89 549	83 628	4 729	589 367	0,46
1 795 273	210 832	277 726	804 156	750 984	42 468	5 292 537	4,12
734 799	215 570	478 780	773 957	634 138	67 114	3 843 333	2,99
344 476	201 052	96 419	387 123	214 047	1 350	1 471 681	1,15
265 282	19	0	212	234 606	135	1 423 460	1,11
1 062 532	139 950	63 016	478 008	519 325	56 506	3 346 843	2,61
179 245	91 013	280 418	309 229	63 963	7 435	1 081 216	0,84
473 613	127 221	277 423	222 640	195 825	0	1 306 803	1,02
161 862	11 832	12 909	88 128	64 448	1 420	377 841	0,29
65 888	0	0	0	9 625	0	223 614	0,17
46 006	5 208	4 712	12 277	14 261	372	136 978	0,11
222 824	55 037	25 414	117 579	1 508 503	0	2 442 876	1,90
717 141	43 626	76 656	228 138	1 953 062	4 726	4 285 160	3,34
42 045 501	3 414 615	8 355 606	28 690 136	16 653 906	545 282	128 434 582	100,00

TABLEAU S.2 RÉSUMÉ DES ÉMISSIONS DE DIOXYDE DE CARBONE AU CANADA POUR 1987
(en tonnes de dioxyde de carbone)

Secteur	T.-N.	Î.-P.-É.	N.-É.	N.-B.	Qc
Sources industrielles					
Production de ciment	80 259	0	155 060	101 127	1 886 424
Production d'ammoniac	0	0	0	0	0
Production de pâtes et papiers	0	0	803 997	2 300 236	5 031 807
Combustion de combustibles - Sources fixes					
Usine à gaz/utilisation sur le terrain	0	0	0	0	0
Production d'électricité	1 919 874	74 777	6 402 448	4 069 684	213 903
Logements	548 975	286 302	1 781 530	797 333	6 088 071
Entreprises commerciales	211 010	93 525	554 946	334 721	3 666 107
Industrie	1 301 079	45 865	1 243 864	1 405 336	9 962 379
Agriculture	14 484	19 404	63 367	48 629	276 531
Administration publique	80 713	32 397	318 449	204 492	268 342
Bois de chauffage	738 986	380 088	392 008	446 305	3 387 682
Combustion de combustibles - Sources mobiles					
Essence					
Automobiles	838 028	249 179	1 656 110	1 392 335	10 279 024
Véhicules utilitaires légers	354 352	105 363	700 270	588 736	4 346 387
Véhicules utilitaires lourds	91 969	27 346	181 749	152 802	1 128 070
Motocyclettes	3 735	1 111	7 382	6 206	45 818
Diesel					
Véhicules utilitaires légers	42 168	6 063	51 603	60 025	416 310
Véhicules utilitaires lourds	378 670	54 450	463 398	539 030	3 738 479
Autres	291 751	46 375	652 358	307 375	2 145 048
Transport ferroviaire	37 114	4 383	172 421	129 793	489 410
Transport maritime	440 264	28 419	844 299	314 367	1 757 738
Transport aérien	754 738	20 062	432 888	80 968	2 478 865
Essence utilisée à des fins autres que le transport	24 133	19 510	58 327	72 535	375 182
Gaz naturel	0	0	0	0	36 964
Propane	1 676	1 975	13 883	10 233	108 789
Incinération des déchets solides					
Ordures ménagères	0	24 757	0	0	518 280
Déchets industriels	8 639	2 274	31 828	40 741	115 037
Déchets ligneux	15 990	6 767	82 500	191 114	1 586 537
Sources diverses					
Brûlage des rémanents	233 838	38 755	320 478	735 519	3 298 052
TOTAL	8 412 447	1 569 147	17 385 164	14 329 639	63 645 236

Ont.	Man.	Sask.	Alb.	C.-B.	T.N.-O./Yuk.	Échelle nationale	% du total
2 207 997	231 660	333 676	715 607	572 967	0	6 284 778	1,33
970 941	161 825	0	2 670 081	242 733	0	4 045 580	0,86
5 675 234	365 966	812 995	1 461 493	14 575 869	0	31 027 397	6,59
0	0	2 213 492	19 435 397	1 428 992	238 629	23 336 510	4,96
30 293 450	768 586	12 146 203	37 945 667	425 978	179 588	94 440 157	20,05
15 817 755	1 192 596	2 010 140	5 955 573	3 398 631	55 606	37 932 512	8,05
7 634 426	1 157 498	1 068 764	3 821 421	2 488 514	115 173	21 146 105	4,49
36 175 866	1 220 384	2 308 657	10 365 055	6 268 711	199 595	70 496 790	14,97
671 880	50 739	169 249	428 207	156 936	1 817	1 901 243	0,40
631 394	34 020	81 376	168 321	156 219	184 162	2 159 886	0,46
2 880 457	164 220	198 651	131 110	325 789	112 570	9 157 865	1,94
18 360 989	1 983 262	2 171 629	5 989 150	5 282 523	149 180	48 351 410	10,27
7 763 769	838 604	918 252	2 532 455	2 233 664	63 079	20 444 932	4,34
2 015 024	217 653	238 325	657 278	579 730	16 372	5 306 318	1,13
81 843	8 840	9 680	26 696	23 546	665	215 523	0,05
733 033	86 085	113 399	328 347	306 636	17 340	2 161 011	0,46
6 582 667	773 051	1 018 330	2 948 572	2 753 607	155 717	19 405 969	4,12
2 694 264	790 422	1 755 528	2 837 842	2 325 174	246 083	14 092 221	2,99
1 263 078	737 190	353 537	1 419 431	784 837	4 949	5 396 164	1,15
972 700	71	0	778	860 223	495	5 219 352	1,11
3 895 949	513 149	231 058	1 752 698	1 904 193	207 188	12 271 756	2,61
657 231	333 714	1 028 198	1 133 838	234 531	27 260	3 964 458	0,84
1 736 582	466 477	1 017 217	816 347	718 024	0	4 791 610	1,02
593 493	43 384	47 333	323 136	236 308	5 206	1 385 416	0,29
241 590	0	0	0	35 291	0	819 918	0,17
168 690	19 097	17 279	45 014	52 290	1 364	502 253	0,11
817 020	201 802	93 183	431 122	5 531 177	0	8 957 212	1,90
2 629 516	159 961	281 072	836 507	7 161 227	17 329	15 712 255	3,34
154 166 838	12 520 254	30 637 223	105 197 164	61 064 323	1 999 367	470 926 800	100,00

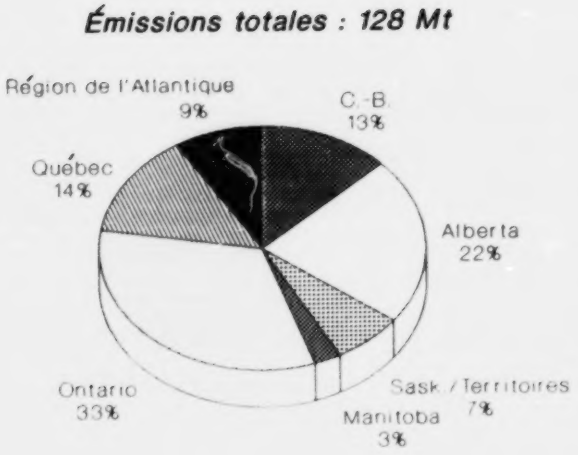


FIGURE S.1 ÉMISSIONS DE DIOXYDE DE CARBONE, PAR RÉGION (1987)

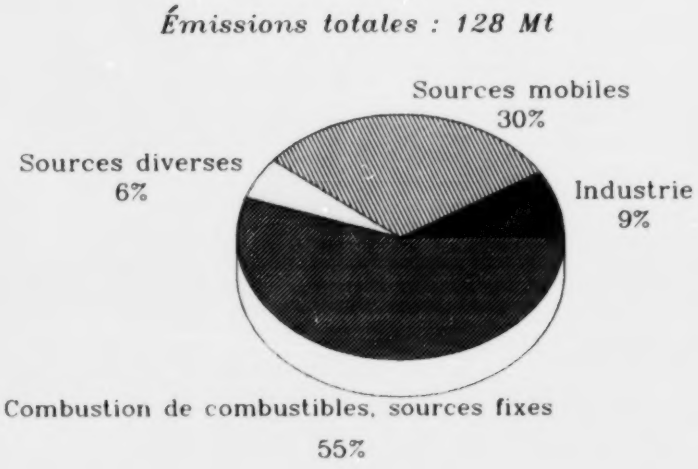


FIGURE S.2 ÉMISSIONS DE DIOXYDE DE CARBONE, PAR SECTEUR (1987)

TABLEAU S.3 FACTEURS D'ÉMISSION DE DIOXYDE DE CARBONE

Type de combustible	Facteurs d'émission		
	Carbone	Carbone	Dioxyde de carbone
Combustibles gazeux	(g/m^3)	(t/TJ)	(t/TJ)
Gaz naturel	512,46	13,55	49,68
Combustibles liquides	(g/L)		
Essence automobile	642,60	18,54	67,98
Kérosène	695,20	18,45	67,65
Essence d'aviation	634,20	18,92	69,37
Propane	416,65	16,32	59,84
Carburant diesel	745,75	19,28	70,69
Huile légère	771,28	19,94	73,11
Pétrole lourd	814,15	19,51	71,54
Carburéacteur	694,17	19,32	70,84
Combustibles solides	(g/kg)		
Bitumineux américain	702,97	24,25	88,90
Bitumineux canadien	692,95	25,12	92,10
Sous-bitumineux	507,63	27,00	99,00
Lignite	425,66	29,56	108,40
Coke de pétrole	898,92	25,75	94,42
Bois de chauffage	400,00	22,22	81,47
Brûlage des rémanents	400,00	22,22	81,47
Incinération	250,00	-	-
Sources industrielles	(g/kg)		
Production de ciment	140,00[a]	-	-
Production d'ammoniac	430,00[b]	-	-
Production de pâtes et papiers	410,00[c]	29,29	107,38

a - de ciment produit
b - d'ammoniac produit
c - de lessives de pâte épuisées

1 INTRODUCTION

Le présent rapport a pour objet de décrire les sources anthropiques d'émissions de dioxyde de carbone (CO_2) au Canada pour l'année 1987, de déterminer les quantités d'émissions et de fournir une méthode d'estimation de ces dernières. Les renseignements ont été obtenus auprès de nombreuses sources, notamment des rapports publiés et des communications personnelles, et à l'aide de calculs techniques.

La combustion de combustibles fossiles constitue la source principale de CO_2. Les émissions anthropiques de CO_2 (exprimées en carbone) ont été estimées, au total, à 128 Mt en 1987. Ce chiffre diffère quelque peu de celui calculé par l'U.S. Department of Energy, qui a estimé à 111 Mt les émissions canadiennes en 1987 (Marland, 1989). La différence peut être attribuée presque entièrement à l'inclusion de sources autres que la combustion de combustibles fossiles et à l'utilisation de données sur la consommation plutôt que sur la production.

La plupart des émissions estimatives de CO_2 n'incluent pas les données relatives au brûlage de la biomasse, qui comprend la combustion de bois, le brûlage des rémanents, l'incinération des déchets ligneux et le brûlage des déchets agricoles. Ces données n'ont pas été incluses pour la raison suivante : la biomasse étant une source d'énergie renouvelable, il n'y a pas d'émission nette de carbone. Cet argument n'est valable que lorsque la quantité de carbone émise dans l'environnement est égale à la quantité éliminée, ce qui n'est pas le cas en ce qui concerne l'exploitation forestière au Canada (section 5). Dans le présent rapport, on a tenté d'inclure toutes les sources anthropiques du CO_2 émis dans l'environnement, sans tenir compte des puits naturels; par conséquent, toutes les sources anthropiques ont été incluses dans les totaux.

Outre la répartition par province et par secteur (tableau S.1), les émissions ont été estimées en fonction des combustibles solides, liquides et gazeux (figure 1 et tableau 1).

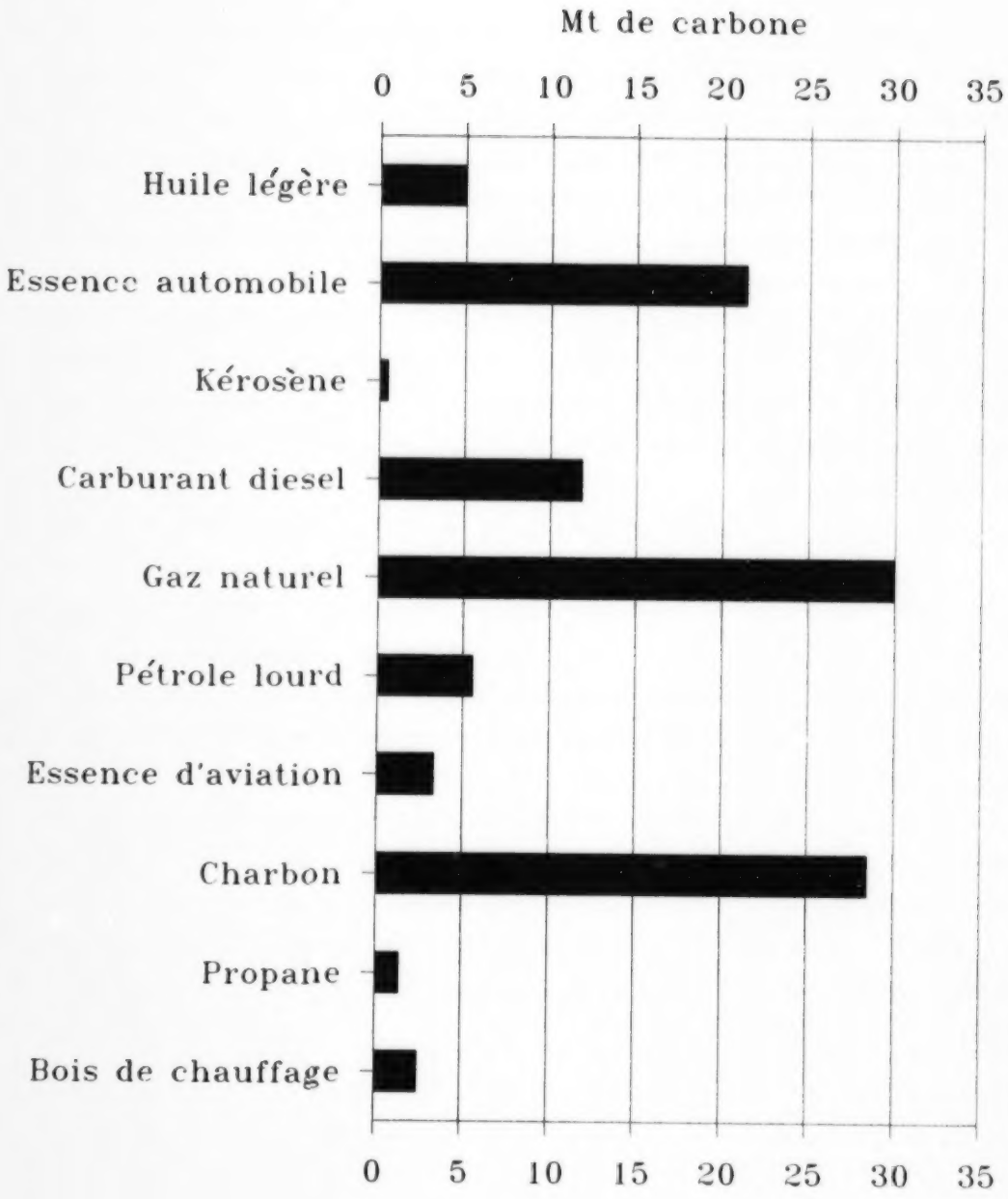


FIGURE 1 ÉMISSIONS DE DIOXYDE DE CARBONE, PAR COMBUSTIBLE (1987)

TABLEAU 1 ÉMISSIONS DE DIOXYDE DE CARBONE, PAR COMBUSTIBLE ET PAR PROCÉDÉ

Combustible/procédé	Émissions (Mt)	Pourcentage du total (%)
Combustibles gazeux		
Gaz naturel	30,12	23,45
Combustibles liquides		
Essence automobile	21,34	16,61
Kérosène	0,50	0,39
Essence d'aviation	0,11	0,09
Propane	1,40	1,09
Carburant diesel	11,83	9,21
Huile légère	4,95	3,85
Pétrole lourd	5,56	4,33
Carburéacteur	3,23	2,51
Combustibles solides		
Bitumineux américain	10,19	7,93
Bitumineux canadien	4,41	3,43
Sous-bitumineux	9,40	7,32
Lignite	4,30	3,35
Anthracite	0,22	0,17
Bois de chauffage	2,50	1,95
Brûlage des rémanents	4,29	3,34
Incinération	2,80	2,18
Procédés industriels		
Production de ciment	1,74	1,35
Production d'ammoniac	1,10	0,86
Production de pâtes et papiers (lessives de pâte épuisées)	8,46	6,59
Émissions totales	128,45	100,00

2 CONTEXTE

La concentration du dioxyde de carbone, gaz présent à l'état de traces dans l'atmosphère terrestre, oscille naturellement en raison des variations annuelles de l'activité biologique. Bien que les processus naturels d'émission et d'élimination soient plus ou moins en équilibre, on peut constater que des concentrations accrues de CO_2 se superposent aux fluctuations saisonnières. La contribution de l'être humain (brûlage des combustibles fossiles, exploitation des forêts et conversion des terres à des fins agricoles) a été plus que suffisante pour expliquer les augmentations des concentrations atmosphériques (Pales et Keeling, 1965; Robinson et Robbins, 1972). Bien qu'il soit inconnu jusqu'à un certain point, l'apport supplémentaire de CO_2 provenant des combustibles non fossiles utilisés dans l'exploitation et le brûlage des forêts ainsi que dans la gestion des sols peut être aussi important que celui provenant de la combustion de combustibles fossiles (Bolin et collab., 1979; Zimen, 1979; Woodwell, 1978).

Approximativement la moitié seulement des radiations électromagnétiques dans le visible pénétrant dans l'atmosphère est absorbée par les nuages et les particules ou retourne dans l'espace par réflexion. Le reste est absorbé à la surface de la Terre et réchauffe les océans et les continents. Les surfaces réchauffées renvoient cette énergie sous forme de chaleur. Le CO_2 est l'un des absorbeurs d'infrarouge les plus importants dans les gammes de longueurs d'onde allant de 550 à 800 cm^{-1}; de 850 à 1 100 cm^{-1}; et de 2 100 à 2 400 cm^{-1} (Wuebbles et Edmonds, 1987). Ce phénomène, couramment appelé "effet de serre", maintient la surface de la Terre à une température d'environ 30 °C plus élevée que ce qu'elle serait sans atmosphère (EPRI, 1986).

Le CO_2 et les autres gaz présents naturellement dans l'atmosphère n'absorbent pas toutes les radiations infrarouges; une certaine partie de la chaleur rayonnée par la planète retourne à l'espace. Par conséquent, même avec des concentrations accrues de CO_2, l'atmosphère est relativement transparente aux radiations dont les longueurs d'onde se situent entre 7 et 12 μm. C'est toutefois dans cette gamme que bon nombre de gaz à effet de serre, tels que le méthane, l'ozone, l'oxyde nitreux et plusieurs chlorofluorocarbones, sont de puissants absorbeurs (EPRI, 1986). Par conséquent, il peut ne pas suffire de réduire seulement les concentrations de CO_2 pour réduire la tendance actuelle vers un réchauffement global.

Bien que les scientifiques aient été, depuis de nombreuses années, au fait de l'existence de concentrations accrues de CO_2 dans l'atmosphère, ce n'est qu'en 1957-1958 que le premier programme de surveillance du CO_2 a été établi et que des mesures précises

ont été prises à des endroits jugés représentatifs d'un état bien mélangé de l'atmosphère : Mauna Loa (Hawaii) et le pôle Sud.

Depuis, la concentration de CO_2 dans l'atmosphère a augmenté d'environ 10 %. En 1989, la concentration moyenne de CO_2 dans l'atmosphère était de 350 ppm (Graedel et Crutzen, 1989), ce qui représente une augmentation d'environ 21 % par rapport à la concentration préindustrielle de 290 ppm (Bolin et collab., 1979) et une augmentation de 35 ppm par rapport aux concentrations de 1958. En supposant que la masse de l'atmosphère est de $5{,}14 \times 10^{21}$ g (Bolin et collab., 1979) et que la masse molaire de l'air est de 29, la concentration de 350 ppm représente 745×10^9 tonnes de CO_2, exprimées en carbone.

En se fondant sur l'augmentation mesurée de CO_2 dans l'atmosphère, on a estimé qu'environ la moitié des émissions annuelles provenant de la combustion de combustibles fossiles (soit 2 500 Mt de carbone par an) s'accumulent dans l'atmosphère. On croit que le reste est consommé par les plantes et absorbé par les océans.

On suppose en général que l'augmentation à long terme de CO_2 est due aux activités industrielles produisant du CO_2, soit par la combustion de combustibles fossiles, soit par des procédés industriels tels que la production de ciment, d'ammoniac et de papier. Cela semble du moins être le cas au Canada, où ces sources comptent pour environ 93 % de l'ensemble des émissions anthropiques de dioxyde de carbone. Les 7 % restants peuvent être attribués à la combustion de bois et à l'incinération de déchets.

Pour déterminer l'ampleur des émissions de CO_2 au Canada, il faudrait comparer les émissions canadiennes de combustibles fossiles à celles observées dans le reste du monde. Actuellement, les émissions canadiennes de CO_2 provenant de la combustion de combustibles fossiles sont d'environ 111 Mt de carbone. Cela correspond à près de 2 % de l'estimation mondiale de 5 650 Mt (Marland, 1989). En 1986, toutefois, le Canada a occupé la quatrième place dans le monde avec des émissions estimées à 4,094 tonnes par habitant (CDIAC, 1988). Il n'était devancé que par la République démocratique allemande, les États-Unis et la Tchécoslovaquie. Pour ce qui est des émissions de CO_2 dues aux combustibles fossiles, les différences entre les pays développés et ceux en développement sont illustrées à la figure 2.

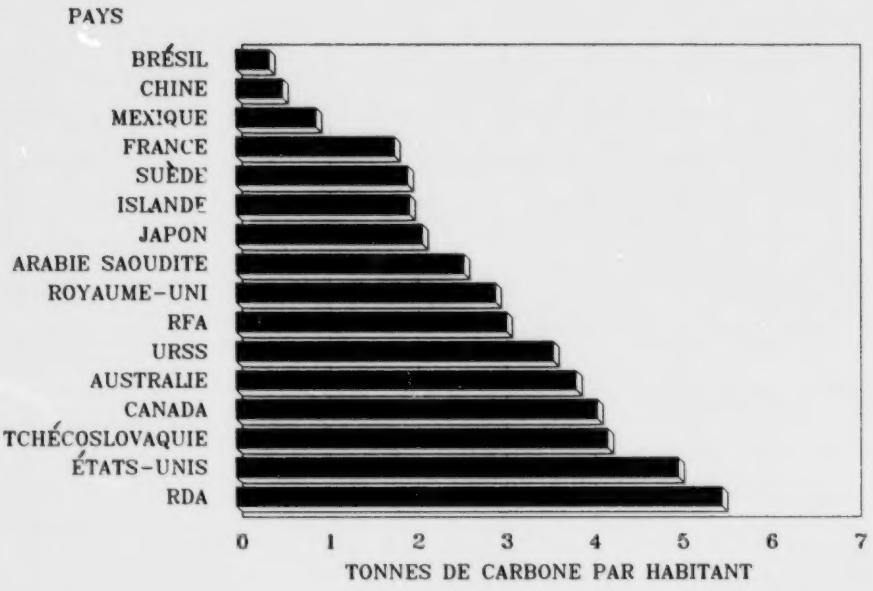


FIGURE 2 ÉMISSIONS DE DIOXYDE DE CARBONE, PAR HABITANT (exprimées en carbone)

3 MÉTHODE

Le CO_2 est l'un des produits finaux de la combustion de matières organiques comme le charbon, le pétrole, le gaz et le bois, et de l'incinération de déchets. En outre, les carbonates inorganiques se décomposent sous l'effet de la chaleur et dégagent du CO_2 ainsi que d'autres oxydes.

Étant donné que le CO_2 est produit lorsqu'un combustible brûle, le calcul des émissions de CO_2 devrait être simple. C'est ce qu'illustre l'équation suivante :

$$C_xH_y + (X + 1/4Y)O_2 \rightarrow X\ CO_2 + 1/2\ YH_2O + \Delta H$$

où : ΔH est la chaleur de réaction, et

C_xH_y un combustible hydrocarboné généralisé.

Pour chaque type de combustible brûlé, on estime que les émissions annuelles de CO_2 dépendent de trois paramètres : la quantité de combustible consommée, la teneur en carbone du combustible et la fraction oxydée du combustible.

En outre, à des fins de simplification, on a estimé les émissions provenant de combustibles fossiles en utilisant trois classes de combustibles : gazeux, liquides et solides. Cette méthode est semblable à celle utilisée par Marland et Rotty (1983), qui ont estimé les émissions globales de CO_2 en se fondant sur un vaste échantillon de données établies par les Nations Unies sur la production de combustible. De plus, tous les facteurs d'émission ont été exprimés en tonnes par térajoule pour faciliter la comparaison entre l'utilisation d'énergie et les émissions de carbone.

3.1 Combustibles

3.1.1 Combustibles gazeux. Toutes les données relatives à la consommation de combustibles au Canada ont été tirées de deux publications de Statistique Canada : Bulletin trimestriel - disponibilité et écoulement d'énergie au Canada, 57-003 (1988) et Production de pétrole brut et de gaz naturel, 26-006 (1988). Les quantités consommées sont traitées à la section sur les émissions du présent rapport.

La détermination de la teneur en carbone d'un combustible est ordinairement fondée sur la fraction des hydrocarbures (dans ce cas, le méthane) de ce combustible. Keeling (1973) a calculé que la teneur moyenne en carbone du gaz naturel était de 524 g

de carbone par mètre cube. Les travaux effectués ultérieurement par Marland et Rotty (1983) ont permis d'obtenir une valeur plus appropriée. Afin d'élaborer un facteur d'émission établissant une relation entre la consommation de gaz naturel, sur le plan de sa teneur en énergie, et une unité de masse pour le carbone, il est aussi nécessaire d'établir un pouvoir calorifique moyen qui soit représentatif du gaz canadien.

La composition du gaz peut varier grandement selon la source de celui-ci. Considine (1977) signale que le gaz naturel à haut pouvoir calorifique se compose d'environ 95 % de méthane, 4 % d'azote et 1 % de gaz plus lourds. Il faudrait aussi noter que lorsqu'on extrait les liquides du gaz naturel, le pouvoir calorifique de celui-ci est réduit. En utilisant comme critère le gaz de référence des États-Unis (tableau 2) et en supposant l'élimination de 20 % de l'éthane et de 72 % du propane ainsi que l'élimination complète des hydrocarbures lourds, de l'hydrogène sulfuré (H_2S), du dioxyde de carbone (CO_2) et de l'eau, Marland et Rotty (1983) ont calculé que le gaz résultant avait un pouvoir calorifique de 9 103 kcal/m^3. Ce gaz sec contient 0,550 kg de carbone par mètre cube à 0 °C; avec l'addition du CO_2 préalablement extrait, il produirait 0,555 kg de carbone par mètre cube lorsqu'il est entièrement oxydé. Aux températures normales (15,6 °C), cela équivaut à 525,4 g de carbone par mètre cube.

En effectuant des calculs semblables pour divers gaz naturels (tableau 3), Rotty et Marland (1983) ont constaté que la teneur en carbone par unité d'énergie pourrait être représentée avec précision par une relation linéaire avec le pouvoir calorifique. Cette relation est exprimée par l'équation suivante :

$$Cg = 57{,}357 + 1{,}459 \times 10^{-3} (\Delta HH - 8\,898) \qquad \text{Équation 1}$$

où : Cg est la quantité de carbone (en g de carbone/1000 kcal), et ΔHH est le pouvoir calorifique supérieur du gaz (en g de carbone/1 000 kcal/m^3 à 15,6 °C).

Étant donné que la composition du gaz peut varier, différents pouvoirs calorifiques estimatifs peuvent être et ont été attribués au gaz naturel, comme on peut le constater dans la documentation. Les Nations Unies (1978) et Hirschler (1981) ont signalé une valeur de 38,90 MJ/m^3. En utilisant leur équation de régression et une valeur mondiale moyenne supérieure de 37,24 MJ/m^3, Marland et Rotty (1983) ont calculé que la valeur mondiale moyenne de la teneur en carbone du gaz naturel sec était de 13,70 tonnes de carbone par térajoule.

TABLEAU 2 COMPOSITION DU GAZ NATUREL (% en volume)
(Marland et Rotty, 1983)

	Gaz de référence des États-Unis, 1976	Moyenne mondiale pondérée	Gaz sec, valeur corrigée, 1976
Méthane	88,32	89,24	92,88
Éthane	4,65	4,52	3,91
Propane	2,12	1,95	0,62
Autres hydrocarbures	1,53	1,54	--
Dioxyde de carbone	0,92	0,78	--
Autres	2,46	2,42	2,59
Pouvoir calorifique supérieur (kcal/m^3)	9 685,60	9 680,26	9 102,62

TABLEAU 3 POUVOIR CALORIFIQUE MOYEN DU GAZ NATUREL SEC
(Marland et Rotty, 1983)

Année	États-Unis (kcal/m^3)	Échelle mondiale (kcal/m^3)
1980	-	8 825
1979	9 068	8 839
1978	9 068	8 851
1977	9 086	8 852
1976	9 086	8 864
1975	9 112	8 874
1974	9 086	8 893
1973	9 139	8 921
1972	9 175	8 924
1971	9 175	8 929
1970	9 175	8 956

Bien que l'Office national de l'énergie (1986, 1988) publie des facteurs de conversion du contenu énergétique global (tableau 4), les années ne sont pas indiquées et il n'y a aucun moyen de déterminer quelles quantités sont applicables aux facteurs individuels. Étant donné que Statistique Canada (57-003, 1988) fournit des facteurs de conversion qui sont révisés chaque année et qui tiennent compte des différences régionales, le pouvoir calorifique moyen de 37,82 MJ/m^3 établi par ce ministère a été choisi comme valeur représentative pour le gaz naturel consommé au Canada en 1987.

Si l'on remplace cette valeur (37,82 MJ/m^3 ou 9 040 kcal/m^3) dans l'équation 1, on obtient 57,57 g de carbone/1 000 kcal ou 13,76 tonnes de carbone par

TABLEAU 4 FACTEURS DE CONVERSION DU CONTENU ÉNERGÉTIQUE GLOBAL DU GAZ NATUREL (Office national de l'énergie, 1986, 1988)

	MJ/m^3
Colombie-Britannique	
- échelle provinciale	39,10
- Huntingdon	39,10
- Kingsgate	37,65
- Grassy Point	38,20
Alberta	
- échelle provinciale	38,80
- Cardston	37,65
- Aden	36,06
Est du Canada	37,65
Moyenne canadienne	38,03

térajoule. Ce résultat est semblable à celui obtenu par Marland et Rotty (1983) ainsi qu'à celui obtenu lorsqu'on fait la moyenne des valeurs de l'Office national de l'énergie.

La portion du combustible qui ne subit pas d'oxydation a été soustraite de ce facteur. Pour ce qui est du gaz naturel, la fraction de la consommation annuelle qui demeure non oxydée chaque année est due à une combustion incomplète. Une fraction du carbone du gaz utilisé comme combustible reste dans la cuve, sous forme de suie déposée autour du brûleur, ou est émise dans l'environnement. Bien qu'il soit difficile de déterminer la quantité exacte de carbone non oxydé, une estimation prudente l'établit à environ 1,5 %.

Le facteur utilisé pour estimer les émissions de dioxyde de carbone provenant de la combustion du gaz naturel (13,55 tonnes de carbone par térajoule) a aussi été appliqué au torchage du gaz naturel. Bien que la concentration de carbone et, par conséquent, le contenu énergétique par gramme de combustible soient moins élevés dans le cas du gaz non traité, on estime que toute erreur commise en appliquant le même facteur est inférieure à celle causée par les incertitudes associées aux hypothèses d'oxydation.

3.1.2 Combustibles liquides. Les liquides dérivés du pétrole ont été divisés en huit combustibles différents, et des facteurs d'émission ont été établis pour chacun. Comme dans le cas du gaz naturel, toutes les données relatives à la consommation de combustibles

liquides sont tirées des publications 57-003 et 26-006 de Statistique Canada. Elles sont exprimées selon le volume dans la section sur les émissions du présent rapport.

Brame et King (1967) signalent que la teneur en carbone des produits liquides du pétrole peut varier de 79 à 87 %. Keeling (1973) a utilisé la moyenne de cet intervalle, soit 84 %, alors que Marland et Rotty (1983) ont utilisé 85 %. Selon Zimen et collab. (1977), la teneur en carbone du pétrole brut et des liquides du gaz naturel est d'environ 95 % en masse. Sauf pour le propane, tous les calculs présentés dans ce rapport se fondent sur la valeur supérieure de 87 % de carbone en masse indiquée par Keeling.

Les divers combustibles liquides, leur masse volumique et leur contenu énergétique global figurent au tableau 5. Les contenus énergétiques sont tirés de Statistique Canada (1988) et de l'Office national de l'énergie (1986, 1988), alors que la gamme des masses volumiques provient d'un tableau de facteurs de conversion relatifs à l'industrie pétrolière (Modern Petroleum Technology, 1975) et de Perry et Chilton (1973).

Afin de déterminer la fraction des combustibles liquides subissant une oxydation, il est d'abord nécessaire d'estimer la fraction qui n'est pas entièrement oxydée durant la combustion. On a établi une approximation en comparant les émissions estimatives, pour 1985, de composés organiques volatils et de particules totales en suspension dues à la combustion de combustibles liquides, à la masse de combustibles liquides consommée. Statistique Canada (1986) signale qu'en 1985, 54 514 000 tonnes de combustibles liquides ont été consommées au Canada (tableau 6). Les émissions de composés organiques volatils et de particules totales en suspension provenant de la combustion de combustibles liquides en 1985 ont été estimées à 1 027 000 tonnes et à 108 000 tonnes, respectivement (Environnement Canada, 1989). On suppose que l'oxyde de carbone (CO), une matière incomplètement oxydée formée durant la combustion et rejetée dans l'atmosphère, subit assez rapidement (de 0,1 à 0,4 an) une oxydation complète dans l'environnement (Bach, 1988). Le méthane, un autre produit de combustion inefficace, subit une oxydation complète en un temps défini (de 7 à 10 ans) (Bach, 1988; Marland et Rotty, 1983). Par conséquent, pour cette classe de composés, toute différence entre la quantité totale de carbone oxydée au cours d'une année donnée et celle qui serait basée sur l'oxydation complète du carbone rejeté pendant une année courante est due à un changement dans la consommation annuelle de combustibles et dans la formation de méthane. Étant donné que la fraction de matière dans cette classe est petite, l'hypothèse selon laquelle une fraction équivalente de matière est oxydée chaque année ne devrait pas causer d'erreur importante.

TABLEAU 5 COMBUSTIBLES LIQUIDES

Combustible	Gammes des masses volumiques	Contenu énergétique global (GJ/m^3)
Essence automobile	0,71 à 0,79	34,66
Essence d'aviation	0,70 à 0,78	33,52
Kérosène	0,78 à 0,84	37,68
Carburant diesel	0,82 à 0,92	38,68
Huile légère	0,85 à 0,95	38,68
Pétrole lourd	0,92 à 0,99	41,73
Carburéacteur	0,78 à 0,84	35,93
Propane	0,508	25,53

Par conséquent, 1,135 x 10^6 tonnes ou 2,1 % de la masse totale de combustibles (l'ensemble des émissions de composés organiques volatils et de particules totales en suspension) représentent la matière incomplètement oxydée au cours de la combustion de combustibles liquides. Toutefois, une certaine fraction de cette matière subit une oxydation avec le temps. Bon nombre des hydrocarbures émis, surtout par l'échappement des moteurs, sont fortement réactifs (U.S. NRC, 1979). Les données relatives aux aérosols urbains indiquent que ceux-ci contiennent environ 20 % de carbone (U.S. NRC, 1979; Marland et Rotty, 1983). C'est pour ces raisons que l'on a estimé à 1,5 % la fraction des combustibles liquides qui subit, chaque année, une combustion et qui demeure non oxydée dans l'environnement.

Pour chaque combustible liquide, on a estimé les émissions de CO_2, exprimées en tonnes de carbone, en transformant le contenu énergétique des combustibles (tableau 5) en une masse par unité d'énergie. On a effectué le calcul en utilisant les masses volumiques (tableau 6) fondées sur les médianes des gammes de masses volumiques figurant au tableau 5, et en multipliant la masse par unité d'énergie par la teneur appropriée en carbone plus un (1) moins le pourcentage du combustible non oxydé, c'est-à-dire 0,895. Les facteurs d'émission ainsi calculés figurent au tableau S.3.

Les estimations des émissions sont traitées à la section 4 du présent rapport, de même que les méthodes élaborées et utilisées pour regrouper les émissions par catégorie de véhicule.

3.1.3 Combustibles solides. Comme pour les combustibles gazeux et liquides, les émissions de CO_2 provenant de la combustion de combustibles solides sont directement liées à la quantité de combustible consommée, à la teneur en carbone du combustible et à la fraction oxydée. Les quantités de combustibles consommées proviennent de Statistique

TABLEAU 6 CONSOMMATION DE COMBUSTIBLES LIQUIDES AU CANADA (1985)

Combustible	Volume ($\times 10^3$ m^3)	Masse volumique (t/m^3)	Masse ($\times 10^3$ t)
Essence automobile	32 732	0,75	24 549
Kérosène	860	0,81	697
Carburant diesel	15 007	0,87	13 056
Huile légère	7 344	0,90	6 609
Pétrole lourd	4 523	0,95	4 297
Essence d'aviation	177	0,74	131
Carburéacteur	4 300	0,81	3 483
Propane	3 319	0,51	1 692
Total			54 514

Canada, Bulletin trimestriel - disponibilité et écoulement d'énergie au Canada, 1987. En ce qui a trait aux charbons, des facteurs d'émission ont été établis pour le lignite, les sous-bitumineux, les bitumineux canadiens, les bitumineux américains et l'anthracite. La teneur en carbone et, par conséquent, le contenu énergétique des charbons peuvent varier considérablement. Afin d'établir des facteurs d'émission représentatifs d'une gamme de valeurs pour les charbons utilisés au Canada, on a consulté plusieurs publications (Environnement Canada, 1982; Association canadienne de l'électricité, 1985; Marks, 1978; Campbell, 1986). Pour ce qui est des cinq types de charbon utilisés au Canada, les teneurs en carbone exprimées en pourcentage de la masse (moyennes des valeurs signalées dans les documents ci-dessus) et les contenus énergétiques (Statistique Canada, 1988) utilisés dans le présent rapport figurent au tableau 7.

TABLEAU 7 CHARBONS CONSOMMÉS AU CANADA

Charbon	Teneur en carbone (% de la masse)	Contenu énergétique global (GJ/t)
Bitumineux américain	71	29,00
Bitumineux canadien	70	27,60
Sous-bitumineux	51	18,80
Lignite	43	14,40

Pour déterminer la fraction non oxydée du carbone dans le charbon, on a adopté une méthode semblable à celle utilisée par Marland et Rotty (1983) et le CDIAC (1988). Au Canada, les chaudières des services publics d'électricité consomment plus de

80 % du charbon consommé. Par conséquent, si l'on utilise les données sur les produits de la combustion dans ces chaudières, on devrait obtenir des résultats représentant la plus grande partie du charbon consommé. L'analyse des cendres lourdes à la centrale électrique de Battle River (Association canadienne de l'électricité, 1985) a permis de déterminer une teneur moyenne en carbone de 5,5 %, les cendres lourdes représentant, en moyenne, 12,25 % de la quantité totale du charbon utilisé. D'après ces résultats et une teneur moyenne en carbone de 50 % du charbon, la proportion de carbone non consumé dans les cendres est d'environ 0,64 %. L'examen de données de la Bull Run Steam Plant, qui relève de la Tennesse Valley Authority (Marland et Rotty, 1983), révèle qu'entre 0,14 et 2,7 % de la fraction combustible du charbon n'est pas brûlé. En tenant compte de ces résultats, on peut supposer que 1,0 % du carbone du charbon actuellement consommé dans des chaudières est rejeté sans être consumé. Les facteurs d'émission que l'on a calculés en multipliant la teneur en carbone par la fraction oxydée et le contenu énergétique approprié figurent au tableau S.3. Il faudrait toutefois noter que les émissions estimatives sont fondées sur la masse et non sur l'énergie.

En ce qui a trait au charbon qui n'est pas utilisé comme combustible, il faut aussi estimer la fraction qui ne subit pas d'oxydation. Sur la base des renseignements fournis par l'U.S. Department of Energy (1982) et Marland et Rotty (1983), environ 5,91 % en moyenne du charbon destiné aux cokeries sert à la production d'huile légère et de goudron brut (tableau 8). Ces sous-produits du coke sont surtout utilisés dans l'industrie chimique et, comme tels, ils ne subissent pas d'oxydation pendant la période sur laquelle portent les estimations du présent rapport. Les industries canadienne et américaine des sous-produits du coke se ressemblent; par conséquent, on a modifié les données relatives au charbon consommé pour produire du coke, ce qui, en fait, réduit les quantités indiquées de 6,0 %. Pour ce qui est des chiffres corrigés relatifs au charbon, les émissions de CO_2 sont calculées de la même façon que pour les charbons utilisés uniquement comme combustibles.

La combustion d'autres combustibles solides comme le bois de chauffage, les ordures et les rémanents produit aussi des émissions de CO_2. On peut facilement calculer un facteur d'émission pour la combustion du bois et le brûlage des rémanents (Hirschler, 1981) si l'on suppose que la composition chimique du bois est semblable à celle de la cellulose (c'est-à-dire $C_6H_{12}O_6$) et que 100 % de la combustion a lieu. Cela donne un facteur d'émission de 1,47 tonne de CO_2 par tonne de bois consumée ou de 0,40 tonne de carbone par tonne de bois consumée. Exprimées selon la quantité d'énergie, ces données deviennent 22,22 t/TJ et sont fondées sur un contenu énergétique global moyen de

TABLEAU 8 HUILE LÉGÈRE ET GOUDRON PRODUITS À PARTIR DU CHARBON DANS LES COKERIES AUX ÉTATS-UNIS (CDIAC, 1988)

Année	Huile légère brute et goudron brut	Charbon destiné aux cokeries	% du charbon transformé en huile légère et en goudron
	(x 10^6 tonnes d'équivalent de charbon/pouvoir calorifique)		
1980	3,29	54,88	6,00
1979	3,64	63,44	5,74
1978	3,34	58,75	5,68
1977	3,66	63,93	5,72
1976	3,95	69,69	5,68
1975	3,99	68,79	5,80
1974	4,24	74,22	5,71
1973	4,54	77,43	5,87
1972	4,57	72,16	6,33
1971	4,18	68,46	6,11
1970	4,76	79,40	6,00
1969	4,86	76,85	6,33

18 TJ/kt de bois (Statistique Canada, 1988). Le pouvoir calorifique moyen des ordures ménagères se situe entre 0,84 et 1,27 x 10^4 kJ/kg (Burns et Seaman, 1973). Un pouvoir calorifique intermédiaire de 1,06 x 10^4 kJ/kg correspond à 37 % de celui du charbon dur (Hirschler, 1981). Par conséquent, étant donné que la transformation de la matière organique en dioxyde de carbone produit presque la totalité de la chaleur libérée par les ordures incinérées, on a estimé que l'émission de dioxyde de carbone produite par l'incinération d'une tonne d'ordures équivalait à environ 35 % de celle produite par la combustion d'une tonne de charbon dur, c'est-à-dire 0,246 tonne de carbone par tonne d'ordures incinérées.

3.2 Procédés industriels

La production de ciment et la production d'ammoniac sont deux procédés industriels qui émettent des quantités importantes de dioxyde de carbone.

Le ciment est ordinairement produit dans un four à ciment dans lequel le carbonate de calcium ($CaCO_3$) provenant d'une matière riche en calcium (calcaire, craie ou marne) est décomposé en dioxyde de carbone et en oxyde de calcium (CaO). Le $CaCO_3$ se combine ensuite avec les silicates se trouvant dans la glaise ou le schiste argileux pour former des silicates dicalciques et tricalciques (Helmuth et collab., 1979). Les aluminates de chaux sont aussi formés dans le clinker de ciment portland. On convient généralement que la teneur moyenne mondiale en calcaire du ciment se situe entre 60 et 67 % (Orchard,

1973). On a estimé les émissions en utilisant 63,5 % comme valeur acceptable de la teneur en oxyde de calcium du ciment. On a obtenu un facteur de 0,136 tonne de carbone par tonne de ciment produit en divisant la masse molaire du dioxyde de carbone par la masse molaire de l'oxyde de calcium et en multipliant le résultat par la fraction de l'oxyde de calcium contenu dans le ciment. Cette même valeur est utilisée par Hirschler (1981), Acres (1987) et le CDIAC (1988).

$$\frac{\text{12,01 g/mole de C}}{\text{56,08 g/mole de CaO}} \times 0{,}635 = 0{,}136 \text{ g de carbone/g de ciment}$$

Au Canada, la majeure partie de l'ammoniac (NH_3) est produite par le procédé Haber-Bosh (Geadah, 1985), dans lequel l'azote et l'hydrogène réagissent dans un rapport de 1 à 3 à une température et à une pression élevées pour produire l'ammoniac. On obtient l'hydrogène du gaz naturel. Les matières et l'énergie nécessaires à la production d'une tonne d'ammoniac sont indiquées au tableau 9 (Industrial Chemicals, 1980).

TABLEAU 9 MATIÈRE ET ÉNERGIE NÉCESSAIRES À LA PRODUCTION D'AMMONIAC (Industrial Chemicals, 1980)
Base - 1 tonne d'ammoniac (liquéfié)

Gaz naturel (92 % CH_4)	812	m^3
Catalyseur pour conversion catalytique	0,15	kg
Catalyseur de synthèse	0,25	kg
Soude caustique (100 %)	4,00	kg
Monoéthanolamine	0,15	kg
Gaz combustible (destiné aux compresseurs d'entraînement)	7 108	kWh
Électricité	119	kWh
Eau	25	m^3

En se fondant sur ce bilan-matières et sur l'hypothèse selon laquelle tout le carbone contenu dans le gaz naturel finit par être libéré dans l'environnement, on a élaboré un facteur d'émission établissant une relation entre les émissions de dioxyde de carbone et la production d'ammoniac. En supposant que le gaz naturel contient 525 g de carbone par tonne et qu'il faut 812 m^3 de gaz naturel pour produire une tonne d'ammoniac, on obtient un facteur d'émission de 0,426 tonne de carbone par tonne d'ammoniac produit.

L'industrie des pâtes et papiers est une grande consommatrice de bois, celui-ci étant utilisé tant dans la production de papier que dans la production d'énergie. La combustion des lessives de pâte épuisées y est la source principale de CO_2. Selon le

rapport sur l'énergie (1988) de Statistique Canada, le contenu énergétique moyen des lessives de pâte épuisées est d'environ 14 TJ/t. On a estimé, pour cette industrie, un facteur d'émission de CO_2 en supposant que la teneur moyenne en carbone des lessives est de 41 % (Rydholm, 1965; McCubbin, 1983) et que la totalité du carbone contenu dans le combustible est libérée durant la combustion. Exprimé selon la quantité d'énergie, ce facteur est de 29,29 t/TJ. Le tableau 10 contient une analyse de la composition des lessives épuisées provenant de différents procédés.

TABLEAU 10 COMPOSITION DES LESSIVES DE PÂTE ÉPUISÉES (Rydholm, 1965)

Solides totaux	Pâte de rayonne au bisulfite	Pâte à papier au bisulfite (acide)	Pâte à papier au bisulfite	Sulfite neutre (mi-chimique)	Kraft
% du bois	68	64	74	46	74
% de la lessive de pâte épuisée	13 à 17	12 à 16	14 à 18	9 à 11	17 à 22
Cendres, % des solides totaux	10 à 12	12 à 14	18 à 20	35 à 45	35 à 45
Carbone, %	43	40	35	29	42
Hydrogène, %	5	5	4	4	5
Oxygène, %	42	42	42	44	35
Soufre, %	6	8	11	8	3
Sodium, %	4	5	8	15	15
Pouvoir calorifique des solides totaux (Mcal/t)	4 500	4 300	3 500	3 000	3 900

4 ÉMISSIONS

4.1 Procédés industriels

4.1.1 Production de ciment. Comme on l'a déjà mentionné, la production de ciment est à l'origine de quantités importantes de CO_2. Au Canada, on a recours à la méthode sèche et à la méthode humide pour fabriquer le ciment, mais, quel que soit le procédé employé, le carbone se dégage durant la réduction du carbonate de calcium. En 1987, la production totale de ciment déclarée comme expéditions de producteur était de 12 603 164 tonnes (EMR, 1988).

En utilisant un facteur d'émission de 0,136 tonne de carbone par tonne de ciment produit, on a estimé que les émissions totales dues à la production de ciment étaient de 1,71 Mt. Les émissions provinciales ont été calculées au prorata des capacités de production de chaque province par rapport à la production totale.

4.1.2 Production d'ammoniac. Au Canada, la majeure partie de l'ammoniac est produite par le procédé Haber-Bosh, où un mélange de gaz contenant de l'azote et de l'hydrogène réagit au moyen d'un catalyseur à des températures et à des pressions élevées pour produire de l'ammoniac. L'azote peut être dérivé de l'air par liquéfaction, par une réaction de gaz de gazogène ou par la combustion complète de l'oxygène dans l'air en présence d'hydrogène. L'hydrogène peut être obtenu de nombreuses sources, dont le gaz à l'eau, le gaz de cokerie, le gaz naturel, le mazout, les gaz de reformage catalytiques et l'électrolyse de l'eau ou de la saumure (Industrial Chemicals, 1980).

Pour calculer un facteur d'émission, on a supposé que la plus grande partie de l'ammoniac est produite au moyen du gaz naturel et que la totalité du carbone dans le gaz finit par être transformée en CO_2 et enlevée. En se fondant sur ces hypothèses et sur les matières nécessaires (voir Méthode), on a calculé un facteur d'émission de 0,426 tonne de carbone par tonne d'ammoniac produite. Pour 1987, on a estimé le total des émissions à 1,1 Mt de carbone en se fondant sur une production d'ammoniac de 2590 kt (Corpus, 1987). On a estimé les émissions provinciales d'après les capacités provinciales.

4.1.3 Production de pâtes et papiers. Comme on l'a déjà mentionné, les émissions de CO_2 produites par l'industrie des pâtes et papiers sont surtout dues à la combustion des lessives de pâte épuisées. Les deux principaux procédés de fabrication de la pâte chimique sont le procédé au sulfite, à bas pH ou en milieu acide, et le procédé kraft, qui est alcalin. Bien que la composition chimique des diverses lessives de pâte varie considérablement (tableau 10), c'est le procédé kraft qui est le plus utilisé. Par

conséquent, en ce qui concerne la teneur en carbone des lessives de pâte épuisées, on a choisi une valeur moyenne entre le bisulfite et le procédé kraft. Les quantités de lessives de pâte épuisées sont tirées de Statistique Canada (1988).

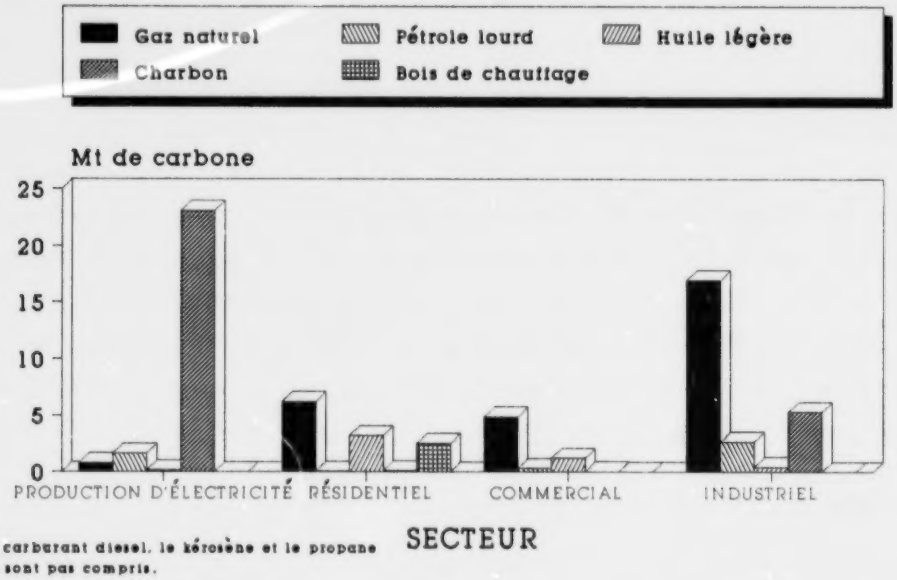
En supposant que les lessives de pâte épuisées contiennent en moyenne 41 % de carbone en masse, que 20 639 kt de lessives de pâte sont utilisées et que la totalité des émissions de celles-ci est transformée en CO_2, on a estimé les émissions de dioxyde de carbone provenant de l'industrie des pâtes et papiers, exprimées en tonnes de carbone, à 8,46 Mt pour l'année 1987. On a estimé les émissions provinciales en se fondant partiellement sur les valeurs déclarées. En ce qui a trait aux provinces pour lesquelles les données de production ont été regroupées par région, on a estimé les valeurs en les comparant aux émissions d'oxyde de carbone pour 1980 (Environnement Canada, 1986).

4.2 Combustion de combustibles - Sources fixes

4.2.1 Production d'électricité. En 1987, l'électricité produite par les centrales au charbon a compté pour 47,52 % de la production thermique totale, celle produite par des centrales au mazout, 5,13 %, au gaz naturel, 4,2 %, et à l'énergie nucléaire, 43,15 %. La production d'électricité par énergie hydraulique a compté pour 64,96 % de la production totale de 482 108 GWh (EMR, 1988b). La production d'électricité par énergie nucléaire et par énergie hydraulique ne dégage pas de dioxyde de carbone.

Deux systèmes de base sont utilisés dans la production de l'électricité thermique à partir de combustibles fossiles : la production de vapeur et la combustion interne (turbine à gaz et moteurs alternatifs). Les chaudières à turbine à gaz sont alimentées au charbon, au mazout lourd, au pétrole brut ou au gaz naturel (la vapeur initiale peut être élevée à l'aide de mazout léger, de gaz naturel, de kérosène ou de carburant diesel), alors que les moteurs alternatifs utilisent de l'huile légère, du gaz naturel, une combinaison des deux ou du carburant diesel.

On a estimé les émissions de dioxyde de carbone en se fondant sur les quantités de combustibles fossiles consommées pendant la production d'électricité, en tenant compte du type de combustible, de son contenu énergétique, de sa teneur en carbone et de la fraction oxydée (figure 3). Les méthodes utilisées sont décrites en détail à la section 3 et les facteurs d'émission calculés figurent au tableau S.3. En se fondant sur les coefficients d'émission et les quantités de combustible consommées (41 883 kt de charbon, 1 912 000 m^3 de pétrole lourd, 176 800 m^3 d'huile légère, 1,5 x 10^9 m^3 de gaz naturel et 240 000 m^3 de carburant diesel) (Statistique Canada, 1988), on a estimé que les émissions totales de dioxyde de carbone provenant de la production d'électricité au moyen



Le carburant diesel, le kérosène et le propane ne sont pas compris.

FIGURE 3 ÉMISSIONS DE DIOXYDE DE CARBONE PROVENANT DE SOURCES FIXES

de combustibles fossiles était de 25,76 x 10^6 tonnes de carbone, ce qui représente environ 20 % de l'ensemble des émissions anthropiques pour l'année 1987.

4.2.2 Combustion de combustibles

Secteur industriel. Les quantités de combustible utilisées à des fins industrielles en 1987 figurent au tableau 11 (Statistique Canada, 1988). Un volume supplémentaire de 12 x 10^9 m^3 de gaz naturel a été consommé par les producteurs industriels à des fins de production. De plus, 5 930 kt de charbon utilisées pour la production de coke ont été incluses dans ce secteur (Statistique Canada, 1988).

On a déterminé que les émissions de dioxyde de carbone atteignaient 25,6 Mt en utilisant les facteurs d'émission apparaissant au tableau S.3.

Secteur commercial. La consommation de combustibles à des fins commerciales figure au tableau 11. Comme dans le cas de la combustion de combustibles industriels, on a calculé que les émissions étaient de 5,8 Mt en utilisant les facteurs d'émission présentés à la section 3.

TABLEAU 11 CONSOMMATION DE COMBUSTIBLES PAR SOURCE FIXE, 1987 (Statistique Canada, 1988; Environnement Canada, 1989)

Source de combustion de combustibles	Consommation de combustibles						
	Charbon (kt)	Gaz naturel (m^3)	Pétrole lourd (m^3)	Kérosène et combustible à usage domestique (m^3)	Propane (m^3)	Huile légère (m^3)	Bois (kt)
Secteur industriel	1 735	$2{,}1 \times 10^{10}$	3 261 300	50 700	537 300	538 300	-
Secteur commercial	26	$8{,}6 \times 10^{9}$	235 800	100 200	554 300	1 104 300	-
Secteur résidentiel	174	$1{,}2 \times 10^{10}$	65 500	489 800	1 105 600	4 104 300	6 244
Autres (agriculture, administration publique)	0,6	$9{,}55 \times 10^{8}$	122 000	78 000	1 969 000	465 000	-

Secteur résidentiel. En se fondant sur les quantités consommées figurant au tableau 11, on a estimé à 12,8 Mt les émissions de CO_2, exprimées en tonnes de carbone.

Autres sources de combustion de combustibles. Cette catégorie comprend les combustibles utilisés à des fins autres que le transport et signalées par Statistique Canada comme étant consommés en agriculture et par l'administration publique. La consommation de combustibles à d'autres fins apparaît au tableau 11.

Pour cette catégorie, les émissions ont été estimées à 1,1 Mt en 1987. Les émissions provenant de toutes les sources de combustion fixes ont été estimées à 71 Mt.

4.3 Combustion de combustibles - Sources mobiles

Les émissions proviennent des combustibles consommés à des fins de transport. Les émissions de dioxyde de carbone dues aux véhicules automobiles routiers à essence et à moteur diesel, au transport aérien, au transport ferroviaire, au transport maritime et au combustible utilisé à des fins autres que le transport sont présentées à la figure 4.

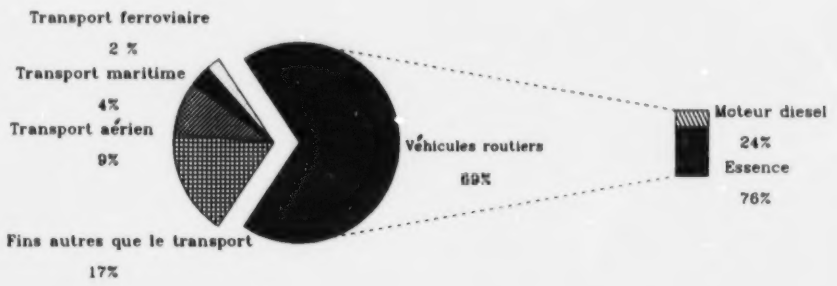


FIGURE 4 ÉMISSIONS DE DIOXYDE DE CARBONE PROVENANT DE SOURCES MOBILES

4.3.1 Véhicules routiers à essence. La présente section traite des émissions produites par tous les véhicules à essence circulant sur les routes publiques, y compris les automobiles, les camions, les autobus et les motocyclettes.

Le facteur d'émission utilisé pour estimer les émissions provenant de tous les véhicules à moteur consommant de l'essence est 18,54 t/TJ (voir la section 3 -

Combustibles liquides). Le calcul de ce facteur est très simple; on suppose qu'un certain pourcentage du carbone du carburant est émis et forme du CO_2. La fraction de carbone du carburant émis sous forme de CO devrait idéalement se situer entre 0,6 et 1,2 % du carbone libéré sous forme de CO_2 (Environnement Canada, 1989). Bien qu'en réalité, ce pourcentage soit supérieur en raison des inefficacités inhérentes aux moteurs à combustion interne, on a supposé que la fraction de carbone libérée sous forme de CO devient finalement du CO_2.

Du méthane et d'autres substances organiques sont émis en plus petites quantités que le CO_2, et c'est pourquoi leur inclusion ou leur exclusion influerait beaucoup moins sur les estimations que n'importe quelle erreur inhérente aux facteurs d'émission. Les hypothèses sont traitées plus en détail à la section 3 - Méthode. Il est beaucoup plus difficile de séparer les émissions par catégorie de véhicule.

En se fondant sur les données fournies par Statistique Canada (1988) sur l'utilisation de carburants, on a réparti les émissions selon que l'essence est utilisée à des fins de transport -- utilisations commerciales, transport routier et ventes d'essence au détail -- ou à des fins autres que le transport -- construction, exploitation forestière et agriculture. Afin de ventiler davantage les émissions à l'intérieur de ces catégories, et plus particulièrement pour le groupe des véhicules routiers, il a fallu émettre certaines hypothèses concernant le rendement des carburants utilisés par les véhicules.

Les rendements moyens des carburants du parc de véhicules ont été calculés, à l'aide du modèle informatique Escon de Du Pont (Du Pont, 1983), pour les automobiles, les véhicules utilitaires légers, les véhicules utilitaires lourds et les motocyclettes; ces rendements ont été établis à 8,5 km/L, 4,71 km/L, 2,62 km/L et 14,18 km/L, respectivement. Afin de déterminer dans quelle mesure ces facteurs étaient représentatifs du parc de véhicules actuel, on a procédé à une comparaison indirecte en estimant les quantités de carburants consommées en 1985. On a effectué plusieurs calculs en utilisant les données de Statistique Canada sur le nombre des véhicules ainsi que les estimations des kilomètres parcourus par chaque catégorie de véhicule. Les quantités d'essence consommées calculées correspondaient à 1 % près à celles établies (Statistique Canada, 1986). Le tableau 12 contient un résumé des chiffres utilisés dans les calculs.

Pour ce qui est de la répartition de l'essence utilisée, les calculs ci-dessus ont permis d'obtenir les résultats suivants pour les différentes catégories de véhicules : automobiles - 65,10 %; véhicules utilitaires légers - 27,51 %; véhicules utilitaires lourds - 7,14 %; motocyclettes - 0,29 %. Ces pourcentages ont ensuite été appliqués aux données relatives à l'essence consommée à des fins de transport en 1987. Les émissions totales

provenant des véhicules routiers à essence ont été estimées, pour l'année 1987, à 20,27 Mt de carbone.

4.3.2 Véhicules routiers à moteur diesel. On a estimé les émissions de CO_2 produites par tous les véhicules à moteur diesel circulant sur les routes publiques, y compris les automobiles, les camions et les autobus, en utilisant une méthode semblable à celle utilisée pour les véhicules automobiles routiers à essence. En se fondant sur la répartition calculée pour les différentes catégories de véhicules (tableau 12), soit 10,02 % de véhicules utilitaires légers à moteur diesel et 89,98 % de véhicules utilitaires lourds à moteur diesel, et sur un facteur d'émission de 19,28 t/TJ, on a estimé que, pour 1987, les émissions totales de CO_2 pour ces deux catégories de véhicules s'élevaient à 6,5 Mt.

TABLEAU 12 CONSOMMATION D'ESSENCE ET DE CARBURANT DIESEL - VÉHICULES ROUTIERS, 1985

Véhicule	Nombre	Distance parcourue (km)	Distance parcourue au litre (km/L)	Consommation (GL)
Automobiles	11 118 071	15 289	8,50	19,96
Véhicules utilitaires légers à essence	2 244 085	17 703	4,71	8,44
Véhicules utilitaires lourds à essence	285 646	20 117	2,62	2,19
Véhicules utilitaires légers à moteur diesel	201 588	17 703	5,90	0,61
Véhicules utilitaires lourds à moteur diesel	216 353	82 881	3,28	5,48
Motocyclettes	470 445	2 816	14,18	0,09

4.3.3 Utilisation de l'essence à des fins autres que le transport. On entend par essence consommée à des fins autres que le transport l'essence qui n'est pas consommée par des véhicules routiers. Elle comprend l'essence consommée par le matériel de construction, le matériel agricole, le matériel forestier et le matériel utilitaire général. Près de 5 % de l'essence vendue au Canada en 1987 a été consommée à des fins autres que le transport et représentait environ $1,7 \times 10^9$ L. Les émissions de dioxyde de carbone, exprimées en carbone, ont été estimées à 1,1 Mt à l'aide du facteur d'émission général calculé pour l'essence (18,54 t/TJ).

4.3.4 Transport aérien. Il s'agit ici de deux types principaux d'aéronefs : ceux à moteur alternatif (piston) et ceux à turbine à gaz. Ces deux types se subdivisent en sous-classes selon la dimension de l'aéronef et le moteur le plus couramment utilisé pour cette sous-classe. Les types d'aéronefs inclus dans cette section sont les suivants : avions à réaction, avions à turbopropulseur, avions à moteur à pistons et hélicoptères.

On a estimé les émissions de dioxyde de carbone en se fondant seulement sur les quantités de carburant fournies par Statistique Canada (1988) et sur les facteurs d'émission calculés précédemment. En utilisant des facteurs d'émission de 18,92 et 19,32 t/TJ et des quantités d'essence d'aviation et de carburéacteur établies à 177,2 et 4 659,4 ML respectivement, on a estimé les émissions à 3,3 Mt en 1987.

4.3.5 Transport ferroviaire. En ce qui a trait au transport ferroviaire, les émissions sont fondées sur les quantités de combustible consommées pour produire de l'énergie à des fins de locomotion. En se basant sur les quantités de carburant diesel consommées par le transport ferroviaire (Statistique Canada, 1988) et sur un facteur d'émission de 19,28 t/TJ ou 0,75 t/m^3, on a estimé à 1,47 Mt les émissions de CO_2, exprimées en carbone; cela représente 1,15 % des émissions totales.

4.3.6 Transport maritime. On n'a considéré, dans cette section, que les navires utilisant du carburant diesel et du pétrole lourd. Les statistiques relatives à la consommation d'essence à des fins de transport maritime n'ont pu être obtenues au moyen de données sur les ventes au détail; par conséquent, les émissions provenant de ces sources ont été incluses dans la catégorie d'essence utilisée à des fins autres que le transport.

En utilisant des facteurs d'émission de 19,28 et de 19,51 t/TJ pour le carburant diesel et le pétrole lourd respectivement, on a estimé qu'en 1987, les émissions étaient de 1,4 Mt de carbone.

4.3.7 Autres véhicules à moteur diesel. On a estimé les quantités de dioxyde de carbone provenant de moteurs diesel utilisés dans les secteurs économiques de l'exploitation minière, de la fabrication, de l'exploitation forestière, de l'administration publique, de la construction et de l'agriculture, en utilisant un facteur d'émission de 19,28 t/TJ pour le carburant diesel et en l'appliquant aux quantités de combustibles consommées par ces secteurs industriels (Statistique Canada, 1988).

En 1987, les émissions totales provenant d'autres moteurs diesel étaient d'environ 3,8 Mt de CO_2, exprimées en carbone.

4.3.8 Autres utilisations des combustibles. On a estimé les émissions de dioxyde de carbone dues à la combustion de gaz naturel et de propane en se fondant sur des données relatives à l'utilisation d'énergie à des fins de transport (Statistique Canada, 1988) et sur des facteurs d'émission de 13,55 t/TJ pour le gaz naturel et de 16,32 t/TJ pour le propane. En raison d'une insuffisance de données, on n'a pas essayé de répartir ces émissions entre les différentes catégories de véhicules.

D'après ces sources, les émissions totales ont été estimées à 1,7 Mt de carbone pour 1987.

4.4 Émissions provenant de l'incinération des déchets

4.4.1 Incinération des ordures ménagères. L'incinération est un procédé qui réduit le volume d'ordures solides par combustion. Certains incinérateurs conviennent le mieux à l'incinération d'ordures ayant des caractéristiques physiques particulières. Les incinérateurs typiques d'ordures ménagères consistent en chambres de combustion à revêtement réfractaire ou à écran d'eau, dotées d'une grille sur laquelle les ordures sont brûlées.

La quantité de CO_2 produite par la combustion d'ordures ménagères dépend presque entièrement de la teneur en carbone et, par conséquent, du contenu énergétique des ordures. En se fondant sur un facteur d'émission de 0, 246 tonne de carbone par tonne d'ordures incinérées et en supposant qu'environ 909 000 tonnes d'ordures ménagères sont incinérées (Environnement Canada, 1989), on a estimé les émissions à 0,22 Mt.

4.4.2 Incinération des déchets industriels. Les incinérateurs industriels et commerciaux sont généralement de taille intermédiaire et peuvent brûler de 25 à 1 800 kg de déchets à l'heure. Le modèle le plus utilisé comporte plusieurs chambres dans lesquelles les gaz provenant de la chambre principale se déplacent vers une chambre de mélange secondaire plus petite où l'on introduit un volume supplémentaire d'air pour favoriser une combustion plus complète.

On suppose qu'environ 75 % des déchets sont incinérés dans des incinérateurs à plusieurs chambres, le reste étant éliminé dans des incinérateurs à air contrôlé. Ces derniers brûlent les déchets en l'absence d'un volume suffisant d'oxygène. La combustion est ensuite terminée dans une chambre secondaire lorsqu'on introduit un volume d'air supplémentaire.

Les émissions provenant de l'incinération des déchets industriels ont été estimées de la même façon que pour les incinérateurs municipaux, et les calculs sont

fondés sur l'incinération d'environ 505 100 tonnes de déchets (Environnement Canada, 1989). Les émissions ont été estimées à 0,14 Mt.

4.4.3 Incinération des déchets ligneux. Des fours wigwam sont utilisés pour l'élimination de la sciure de bois dans les industries du bois débité et de contre-plaqué. On a estimé à environ 6 Mt la quantité de déchets ligneux éliminée, et ce, d'après la quantité de bois débité produite (Environnement Canada, 1989).

On a calculé les émissions de CO_2 en utilisant le facteur d'émission établi pour la combustion de bois (0,4 tonne de carbone par tonne de déchets ligneux incinérés); ces émissions ont été estimées à 2,4 Mt.

4.5 Sources diverses

4.5.1 Brûlage des rémanents. Il a été impossible de trouver des données récentes sur les émissions de CO_2 dues au brûlage des rémanents et aux incendies de forêt; les estimations ont donc été fondées sur les données de 1985.

Les rémanents sont brûlés pour trois raisons principales : réduire les risques d'incendie de forêt, favoriser la croissance des semis et réprimer les insectes. Quelque $10,7 \times 10^6$ tonnes de rémanents ont été brûlées en 1985, ce qui correspond à environ 4,3 Mt de carbone. Les renseignements sur la quantité de rémanents brûlée au Canada étaient fondés sur la production de forêts primaires, et les émissions ont été estimées à l'aide du facteur d'émission de CO_2 pour le bois (Environnement Canada, 1989).

4.5.2 Incendies de forêt. Bien que les incendies de forêt ne soient pas considérés comme une source anthropique d'émissions, ils sont néanmoins une source importante de dioxyde de carbone. En 1986, environ 624 115 ha de forêt ont brûlé au Canada (Service canadien des forêts, 1986). Cela représente environ 14×10^6 tonnes de bois et, sur la base de ces données, les émissions de CO_2 sous forme de carbone ont été estimées à 5,5 Mt.

5 LA BIOMASSE FORESTIÈRE AU CANADA

Si l'on n'examinait, dans le présent rapport, que les émissions de CO_2 provenant de combustibles fossiles, traiter d'autres sources, y compris la combustion de bois, présenterait peu d'intérêt. On a estimé que la biomasse représentait une contribution d'environ 4 % (EMR, 1989) à l'ensemble des besoins en énergie, ce qui n'est pas, comme certains l'ont prétendu, une fraction négligeable. Toutefois, quelle que soit la contribution des diverses sources, la détermination de toutes les sources anthropiques d'émissions de dioxyde de carbone doit comprendre celles provenant de la combustion du bois. Que l'on puisse ou non faire une estimation précise de la contribution de l'exploitation des forêts et des méthodes de reboisement, la combustion du bois a un effet net sur l'ensemble des émissions de CO_2. Pour illustrer cela, on a fait plusieurs calculs en utilisant les statistiques des services forestiers canadiens (Kuhnke, 1989). De 1983-1984 à 1985-1986, environ 1 965 353 ha de forêts ont été récoltés et 1 438 647 ha ont été régénérés par plantation, ensemencement et processus naturel (Kuhnke, 1989).

Au Canada, les taux d'accroissement annuel varient de 0,2 à 5,7 m^3/ha, la moyenne globale étant de 1,5 m^3/ha (Power, 1989). Le taux d'accroissement des arbres dépend des caractéristiques du site et du peuplement forestier, notamment l'essence, la structure, l'âge, le climat, l'eau et les substances nutritives disponibles, et les pratiques sylvicoles. Afin d'estimer l'assimilation de dioxyde de carbone par les forêts, il est nécessaire d'utiliser une valeur moyenne.

En se fondant sur un taux d'accroissement annuel moyen de 1,5 m^3/ha, sur une masse volumique moyenne pour l'épinette et le pin de 631 kg/m^3 et sur une teneur moyenne en carbone de 39 %, on estime que chaque hectare de forêt au Canada assimile environ 369 kg de carbone. Au Canada, les forêts denses couvrent environ 264 x 10^6 ha (World Resources Institute, 1986); elles assimilent environ 97 Mt de carbone sous forme de CO_2. La régénération annuelle des forêts récoltées représente une assimilation supplémentaire de 177 kt de carbone. Il est donc évident que la totalité du CO_2 assimilé sous forme de carbone par les forêts en croissance l'est presque entièrement par les forêts existantes.

Si l'on suppose que l'assimilation naturelle de CO_2 par les forêts a été constante pendant les cent dernières années et qu'elle est restée en équilibre avec les émissions de CO_2 provenant de sources naturelles, alors, seule la croissance de nouvelles forêts devrait être considérée comme un puits naturel pour le CO_2 produit par les activités anthropiques. À lui seul, le brûlage des rémanents représente environ 4,3 Mt de

carbone émis sous forme de CO_2 dans l'atmosphère; par conséquent, l'assimilation annuelle de 0,18 Mt de CO_2 que représentent les pratiques de reboisement est loin d'être suffisante par rapport à toutes les émissions de CO_2 provenant de toutes les formes de combustion du bois. Si l'on mettait en oeuvre des pratiques sylvicoles pour fournir aux forêts des conditions d'accroissement idéales (c'est-à-dire 5,7 m^3/ha) partout au Canada, il faudrait 91 x 10^6 ha supplémentaires de forêt pour contrebalancer les émissions anthropiques totales. Il est évident que la régénération des forêts, à elle seule, ne rendra pas le bilan du carbone équilibré, bien qu'elle puisse jouer un rôle important dans la réduction des émissions nettes.

6 TENDANCES DES ÉMISSIONS

Pour 1985 à 2005 (Sheffield, 1989), on a estimé les émissions de CO_2 en se fondant sur les taux de croissance prévus par l'Office national de l'énergie en ce qui concerne la demande d'énergie dans tous les principaux secteurs industriels (ONE, 1988). Tous les taux de croissance sont fondés sur l'hypothèse de "croissance considérable" de l'Office. Les facteurs d'émission utilisés sont les mêmes que ceux élaborés dans le présent rapport, et l'on suppose qu'ils seront constants tout au long de la période prévue.

Pour ce qui est des secteurs non traités par l'Office national de l'énergie, on a utilisé des taux de croissance établis par Informetrica et fondés sur TIM (The Informetrica Model), son modèle économique le plus récent.

Comme il est indiqué à la figure 5, on prévoit que les émissions totales canadiennes augmenteront d'environ 38 % au cours des 18 prochaines années - de 128 Mt en 1987, à environ 177 Mt en 2005.

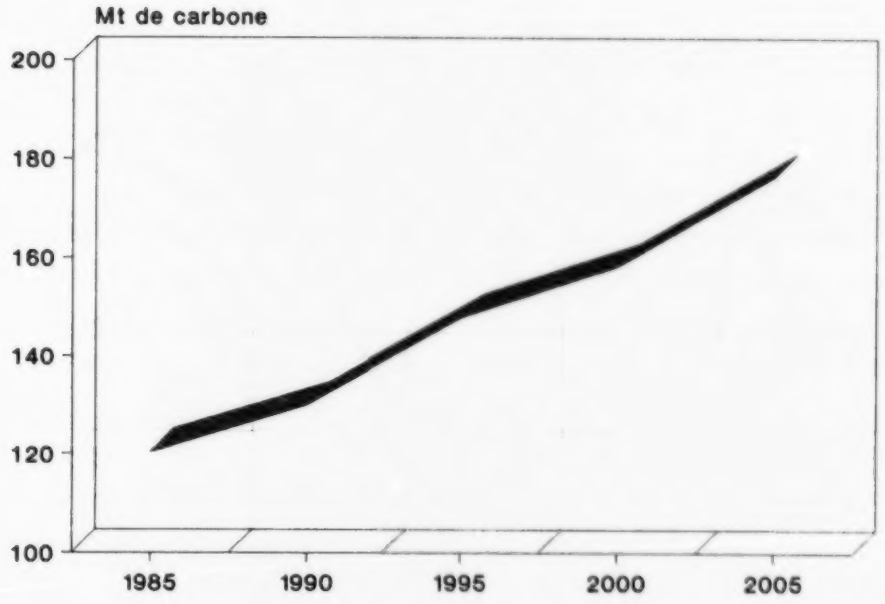


FIGURE 5 TENDANCES DES ÉMISSIONS DE DIOXYDE DE CARBONE (1985-2005)

BIBLIOGRAPHIE

Acres International Ltd. 1987. Energy Consumption and CO_2 Emission Trends in Canada - An Update. Rapport préparé par Acres International Ltd., pour le Service de l'environnement atmosphérique, Environnement Canada, Toronto (Ontario).

Association canadienne de l'électricité. 1985. Characterization of Trace Constituents at Canadian Coal Fired Power Plants. Rapport de recherche, vol. 1.

Bach, W. 1988. The Endangered Climate. Version provisoire, rapport n° 15, Center for Applied Climatology and Environmental Studies, Université de Munster, Allemagne de l'Ouest.

Bolin, B. et collab. 1979. "The Global Biogeochemical Carbon Cycle". Dans : The Global Carbon Cycle, (B. Bolin, E.T. Degens, S. Kempe et P. Ketner, réd.), Scope Report: 13, John Wiley & Sons, Grande-Bretagne, p. 1-53.

Brame, J.S.S. et J.G. King. 1967. Fuel, Solid, Liquid and Gaseous. 6e éd., St. Martin's Press, New York.

Burns, J.A. et M.J. Seaman. 1973. "Some Aspects of Solid Waste Disposal". Dans : Our Environment: the Outlook for 1980 (A.J. Van Tassel, réd.), D.C. Heath and Co., Lexington, MA, ch. 22, p. 455-71.

Campbell, I.M. 1986. Energy and the Atmosphere - A Physical Chemical Approach. 2e éd., John Wiley & Sons, Toronto (Ontario).

CDIAC. 1988. Estimates of CO_2 Emissions from Fossil Fuel Burning and Cement Manufacturing Using the United Nations Energy Statistics and the U.S. Bureau of Mines Cement Manufacturing Data. Environmental Sciences Division at Oak Ridge National Laboratory, ORNL/CDIAC-25 NDP.

Considine, B.M. 1977. Energy Technology Handbook. McGraw-Hill Book Company, New York.

Corpus Information Services. 1987. Ammonia. CPI Product Profiles.

Du Pont Canada Inc. 1983. Modèle informatique utilisé en 1983 pour la prévision des taux de consommation d'essence par les véhicules automobiles routiers.

EMR (Énergie, Mines et Ressources Canada). 1988. Communication personnelle avec le personnel du Secteur de la politique minérale.

EMR. 1988b. L'énergie électrique au Canada 1987.

EMR. Août 1989. L'économie énergétique canadienne et les gaz à effet de serre. Rapport du Groupe de travail fédéral, provincial et territorial sur l'énergie et l'environnement, ch. 2.

Environnement Canada. 1982. Les éléments à l'état de traces dans les charbons canadiens. Rapport de l'Analyse économique et technique EPS 3-AP-82-6F, Direction générale de la lutte contre la pollution atmosphérique.

Environnement Canada. 1986. Émissions des principaux polluants atmosphériques au Canada et tendances (1970 à 1980). Rapport SPE 7/AP/17.

Environnement Canada. 1989. National Inventory of NO_x's, SO_2, VOC's, CO and TSP's. Rapport préliminaire, Division de la gestion de l'inventaire, Conservation & Protection.

EPRI (Electric Power Research Institue). 1988. "Earth's Climate in Transition" (1986). Dans : EPRI Journal. Article distribué lors de la "Conference on Global Climate Change Linkages", Washington, D.C.

Freyer, H.D. 1979. "Variations in the Atmospheric CO_2 Content". Dans : The Global Carbon Cycle, (B. Bolin, E.T. Degens, S. Kempe et P. Ketner, réd.), Scope Report: 13, John Wiley & Sons, Grande-Bretagne, p. 79-101.

Geadah, M.-L. 1985. Inventaire national des sources et des émissions naturelles et anthropiques d'ammoniac (1980). Environnement Canada, rapport EPS 5/IC/1.

Graedel, T.E. et P.J. Crutzen. Septembre 1989. "The Changing Atmosphere". Scientific American.

Helmuth, R.A., F.M. Miller, T.R. O'Connor et N.R. Greening. 1979. Encyclopedia of Chemical Technology. John Wiley & Sons, New York, n° 5, p. 163-193.

Hirschler, M.M. 1981. Man's Emission of Carbon Dioxide into the Atmosphere, Atmospheric Environment, 15. 5:719-727.

Industrial Chemicals. 1980. Industrial Chemicals. 3e éd. (W.L. Faith, D.B. Keyes et R.L. Clark, réd.). John Wiley & Sons.

Keeling, C.D. 1973. "Industrial Production of Carbon Dioxide from Fossil Fuels and Limestone". Dans : Tellus, 25:174-198.

Kuhnke, D.H. 1989. Statistiques sylvicoles canadiennes : résumé couvrant une période de 11 ans. Rapport d'information NOR-X-301, Centre de foresterie du Nord, Forêts Canada.

Marks, L.S. 1978. Standard Handbook for Mechanical Engineers. 8e éd., McGraw-Hill Book Company.

Marland G. Octobre 1989. Communication personnelle.

Marland, G. 1988. The Role of U.S. Forestry in Addressing the CO_2 Problem. Commentaires formulés devant le comité sénatorial sur l'énergie et les ressources naturelles, Environmental Sciences Division, Oak Ridge National Laboratory.

Marland, G. et R.M. Rotty. 1983. Carbon Dioxide Emissions from Fossil Fuels: A procedure for Estimation and Results for 1951-1981. DOE/NBB-0036 TR-003, Carbon Dioxide Research Division, Office of Energy Research, U.S. Department of Energy.

McCubbin, N. 1983. Techniques de base de l'industrie des pâtes et papiers, et ses pratiques de protection environnementale. Préparé pour Environnement Canada, rapport SPE 6-EP-83-1F.

Modern Petroleum Technology. 1975. Facteurs de conversion utilisés par l'industrie pétrolière, Royaume-Uni.

Moore III, B. et B. Bolin. Hiver 1986-1987. "The Oceans, Carbon Dioxide, and Global Climate Change". Dans : Oceanus, 29, 4:9-15.

Nations Unies. 1978. World Energy Supplies 1972-1976. Statistical Office, Department of Economic and Social Affairs (J21), New York.

ONE (Office national de l'énergie). 1986. L'énergie au Canada : offre et demande 1985-2005. NE 23-15/1986-E.

ONE. 1988. L'énergie au Canada : offre et demande 1987-2005. NE 23-15/1988E.

Orchard, D.F. 1973. Concrete Technology. Vol. 1, Applied Science Publishers Ltd., Londres.

Pales, J.C. et C.D. Keeling. 1965. "The Concentration of Atmospheric Carbon Dioxide in Hawaii". Dans : J. Geophys. Res., 70:6053-76.

Perry, R.H. et C.H. Chilton. 1973. Chemical Engineers Handbook. 5e éd., McGraw-Hill Book Company.

Power, K. 1989. Extrait de : La croissance des forêts au Canada. Partie II, description quantitative du territoire et de l'accroissement annuel moyen. Forêts Canada.

Robinson, E., et R.C. Robbins. 1972. "Emissions, Concentrations and Fate of Gaseous Atmospheric Pollutants". Dans : Air Pollution Control, Part II (W. Strauss, réd.), John Wiley & Sons, New York, p. 1-93.

Rotty, R.M., G. Marland et N. Treat. 1984. The Changing Pattern of Fossil Fuel CO_2 Emission. DOE/OR/21400-2, U.S. Department of Energy, Washington, D.C.

Rydholm, S.A. 1965. Pulping Processes. Interscience Publishers.

Service canadien des forêts. 1986. Statistiques forestières du Canada. Statistique Canada, n° 25-202.

Sheffield, A. 1989. Prévisions d'Environnement Canada touchant le CO_2.

Statistique Canada. 1986. Bulletin trimestriel - disponibilité et écoulement d'énergie au Canada, 1985. N° 57-003.

Statistique Canada. 1988. Bulletin trimestriel - disponibilité et écoulement d'énergie au Canada, 1987. N° 57-003.

Statistique Canada. 1988. Production de pétrole brut et de gaz naturel, 1987. N° 26-006.

U.S. Department of Energy. 1982. Coke and Coal Chemicals in 1980. DOE/EIA-0120(80).

U.S. NRC (U.S. National Research Council). 1979. Controlling Airborne Particulates. Committee on Particulate Control Technology.

Woodwell, G.M. 1978. "The Carbon Dioxide Question". Dans : Scientific American, N° 238, p. 34-43.

World Resources Institute et International Institute for Environment and Development. 1986. World Resources 1986. New York: Basic Books, Inc.

Wuebbles, D.J. et J. Edmonds. 1987. A Primer on Greenhouse Gases. U.S. DOE, Washington, D.C.

Zimen, K.E. 1979. "The Carbon Cycle, the Missing Sink and Future CO_2 Levels in Atmosphere". Dans : Man's Impact on Climate (W. Bach, J. Pankrath et W.W. Kellog, réd.), Elsevier, Amsterdam, p. 129-137.

Zimen, K.E., P. Offermann et G. Hartmann. 1977. "Some Functions of CO_2 and Future CO_2 Burden in the Atmosphere". Dans : Z. Naturforsch, 32a:1544-54.

ANNEXE

ÉMISSIONS DE DIOXYDE DE CARBONE, PAR RÉGION

ANNEXE ÉMISSIONS DE DIOXYDE DE CARBONE, PAR RÉGION

Les graphiques circulaires suivants représentent les émissions de CO_2 (sous forme de carbone) par secteur et par région au Canada pour 1987.

Les graphiques montrent clairement qu'il existe de grandes différences entre les sources principales d'émissions de CO_2 de certaines régions. En Colombie-Britannique, par exemple, les émissions se répartissent presque également entre les quatre secteurs principaux. Les sources fixes de combustion de combustibles constituent les principales sources d'émission en Ontario, en Saskatchewan et en Alberta, où elles comptent pour 61, 67 et 75 % du total, respectivement.

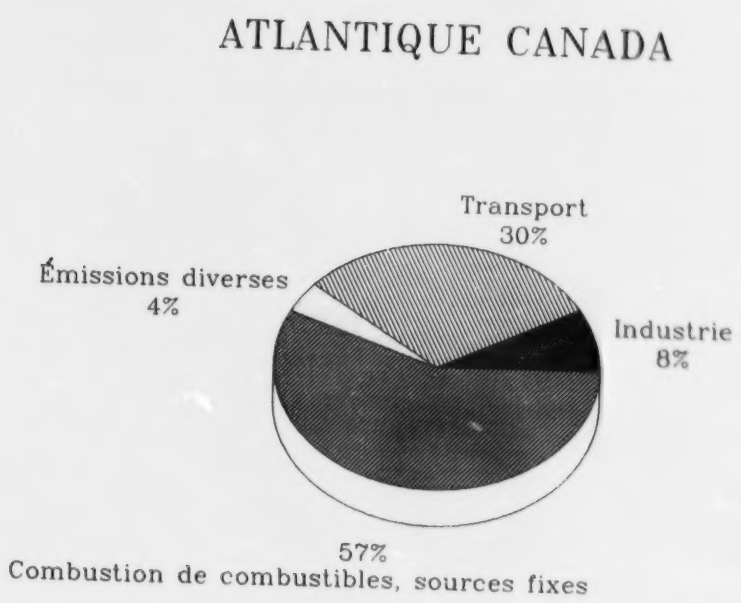
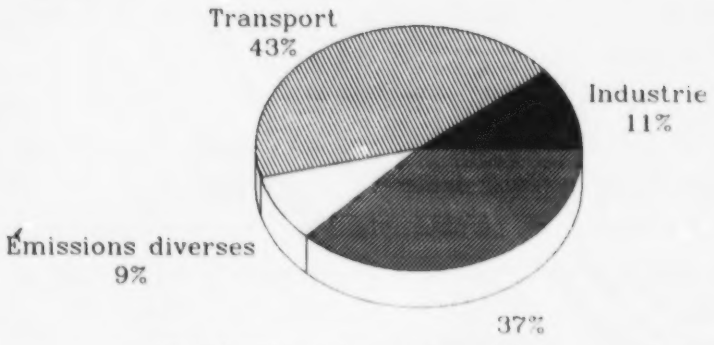
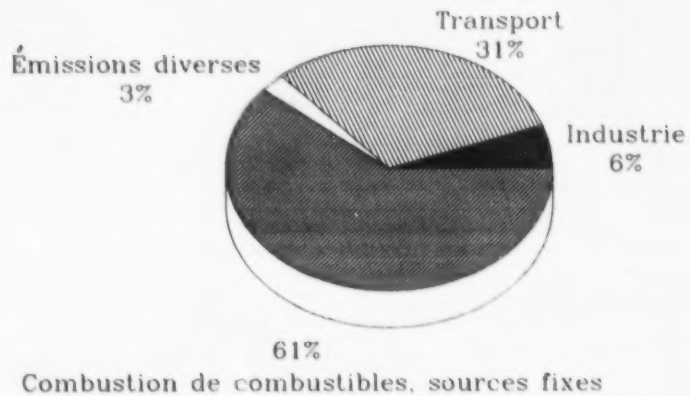


FIGURE A.1 ÉMISSIONS DE DIOXYDE DE CARBONE, PAR SECTEUR - RÉGION DE L'ATLANTIQUE



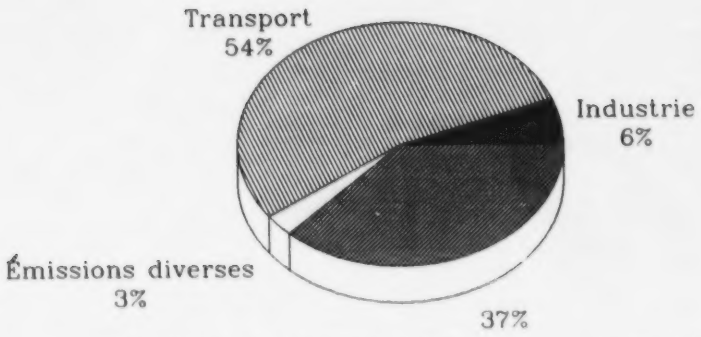
ÉMISSIONS TOTALES : 17 Mt

FIGURE A.2 ÉMISSIONS DE DIOXYDE DE CARBONE, PAR SECTEUR - QUÉBEC



ÉMISSIONS TOTALES : 42 Mt

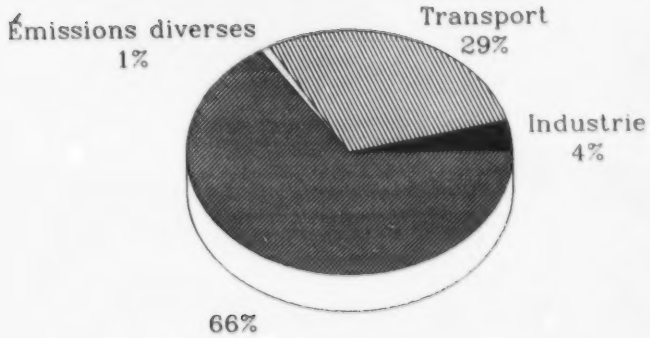
FIGURE A.3 ÉMISSIONS DE DIOXYDE DE CARBONE, PAR SECTEUR - ONTARIO



Combustion de combustibles, sources fixes

ÉMISSIONS TOTALES : 3 Mt

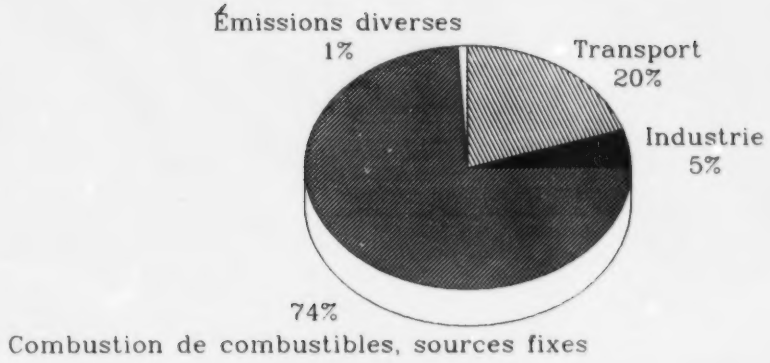
FIGURE A.4 ÉMISSIONS DE DIOXYDE DE CARBONE, PAR SECTEUR - MANITOBA



Combustion de combustibles, sources fixes

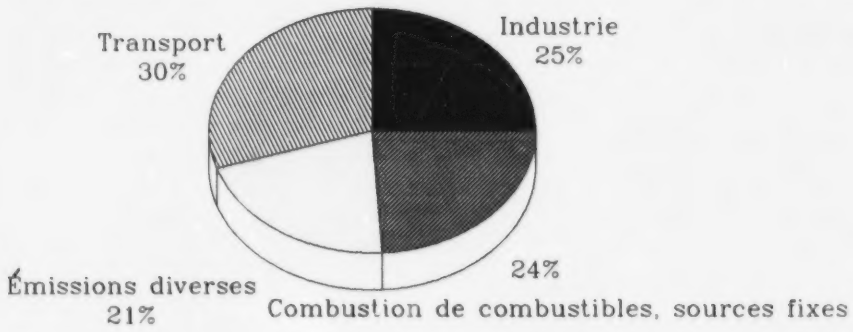
ÉMISSIONS TOTALES : 8 Mt

FIGURE A.5 ÉMISSIONS DE DIOXYDE DE CARBONE, PAR SECTEUR - SASKATCHEWAN



ÉMISSIONS TOTALES : 29 Mt

FIGURE A.6 ÉMISSIONS DE DIOXYDE DE CARBONE, PAR SECTEUR - ALBERTA



ÉMISSIONS TOTALES : 17 Mt

FIGURE A.7 ÉMISSIONS DE DIOXYDE DE CARBONE, PAR SECTEUR - COLOMBIE-BRITANNIQUE